

JYRKI WARTIOVAARA

**JOKIEN AINEVIRTAAMISTA SUOMEN
RANNIKOLLA**

English Summary

Amounts of Substances Discharged by Rivers Off the Coast of Finland

VESIHALLITUS—NATIONAL BOARD OF WATERS, FINLAND
Helsinki 1975

ISBN 951-46-1961-7
Valtion painatuskeskus 1976

SISÄLLYS

	Sivu
Alkusanat	5
1. Johdanto	6
2. Aineisto ja menetelmät	8
2.1 Havaintopaikat	8
2.2 Veden laatua kuvaavat tiedot	11
2.3 Virtaamatiedot	12
2.4 Eri painotusmahdollisuuksia	12
2.5 Laskentamenetelmät	14
3. Tulokset	18
3.1 Veden laadun ja virtaaman korrelaatio	18
3.11 IHD-havainnot	18
3.12 Rekistereistä poimittu aineisto	21
3.2 Arvio jokiveden kuljettamista ainemääristä keskivirtaamien perusteella 1970	21
3.3 Arvio jokiveden kuljettamista ainemääristä 1970...1972	22
4. Tulosten tarkastelu	23
4.1 Varauksia tulosten tulokinnassa	23
4.2 Typpi	24
4.3 Fosfori	25
4.4 Orgaaninen aine	26
4.5 Kiintoaine ja elektrolyytit	28
5. Tiivistelmä	29
Summary	32
Kirjallisuutta	34
Liitteet	36

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty pääosiltaan vesihallituksen vesitutkimustoimistossa niiden havaintojen pohjalta, jotka vesihallinnon tutkimusorganisaatio on tuottanut vesistöjen seurannan yhteydessä. Aineiston käsittelyyn olen saanut tilaisuuden toimiston tutkijana, jonka tehtäviin on kuulunut kyseisten projektien hoito toukokuuhun 1974 asti.

Käsikirjoitus on tarkastettu lisensoitettuna Helsingin Yliopiston maatalous-metsätieteellisessä tiedekunnassa 14.11.1974. Opinnäytteen aiheen on antanut ja työn ohjannut prof. Reino Ryhänen. Hänen lisäksi tarkastajina ovat toimineet prof. Matti Antila ja MMT Ossi Seppovaara. Tukea ja hyviä neuvoja olen saanut myös MMT Reino Laaksoselta, FT Aarno Voipiolta ja prof. Seppo Mustoselta. Tietokoneajoista ovat huolehtineet Valtion Tietokonekeskuksessa FM Juhani Eloranta ja FM Risto Lyly.

Osoitan parhaat kiitokseni kaikille edellä mainituille sekä niille lukuisille muille henkilöille, jotka eri tavoin ovat tehneet tämän tutkielman laatimisen mahdolliseksi.

Helsingissä 31.5.1975

Jyrki Wartiovaara

1. JOHDANTO

Viime aikoina on voimistunut julkinen keskustelu Itämeren tilasta ja siihen vaikuttavista tekijöistä. On osoittautunut tärkeäksi hahmotella arvioita meren ainetaseiden kehityksestä, jotta mahdolliseen pilaantumiseen voitaisiin hyvissä ajoin puuttua rannikkovaltioiden yhteisin toimenpitein. Suunnitelmia varten tarvitaan tietoja meren ekosysteemistä ja fysikaalisista tapahtumista. Tavoitteena on tulevan kehityksen ennakoiminen nykytilan ja siihen johtaneiden tapahtumien perusteella. Lineaarisiin trendeihin pohjautuvat ennusteet ovat käytännössä osoittautuneet tehokasta suunnittelua varten liian epävarmoiksi, joten on pyrittävä käyttämään hyväksi muuttujien välisiä yhteyksiä.

Kun vesistösystemin kuvaukseen liittyy aikadimensio, käy sisäisten tapahtumien kuvaamisen lisäksi välttämättömäksi tarkastella ulkoisten tekijöiden muutoksia. Itämeren suhteen tärkeimmät ulkoiset, muuttuvat tekijät ovat säätila ja ainetaseet. Mereen purkautuvat aine-määrät ovat joidenkin aineiden kohdalla ratkaisevan suuria, sekä jossain määrin ihmisen toiminnasta riippuvaisia. Siten niissä heijastuu karkeasti myös valuma-alueen inhimillisen elämän intensiteetti ja kehitys.

Tässä työssä on ollut kolme tavoitetta:

- a) Laatia karkea arvio Itämereen Suomen alueelta jokiveden mukana kulkeutuvien kasvin-ravinteiden ja orgaanisen aineksen määristä.
- b) Tarkastella jokivesien laadun ja virtaaman välistä riippuvuutta silmälläpitäen aine-virtaamalaskelmien tarkentamista.
- c) Esittää tulokset kokeilusta, jossa pyrittiin käyttämään vesihallinnon ATK-rekisterejä ainevirtaamien laskemiseksi.

Itämeren ainetaseita varten riittävä tarkkuus voitaneen saavuttaa karkeinkin laskentamenetelmin. Monien epätarkkuutta aiheuttavien tekijöiden vuoksi on kyseenalaista, kannattaako mereen jokiveden mukana kulkeutuvia ainemääriä arvioida suuremmalla tarkkuudella kuin

esimerkiksi ilmakehästä laskeutuvia ainemääriä.

Jokiveden kuljettamia aineita koskevan laskelman tarkennusmahdollisuuksia on syytä tutkia siksi, että ne muodostavat tietyn perustan myös valuma-alueen tapahtumien seuraamiselle kvantitatiivisin menetelmin. Veden laadun ja virtaaman välisen korrelaation käyttö tähän tarkoitukseen tuntuu ensi vaiheessa luonnolliselta siksi, että virtaamatietoja on lukuisilta havaintopaikoilta tarjolla päivittäisinä. Laatuhavaintoja on ollut tapana tehdä harvemmin.

Vesihallinnon ATK-rekistereissä on koottuna useita miljoonia tietoja, jotka koskevat Suomen vesistöjen veden laatua ja hydrologiaa. Mittavan tietovarannon käyttömahdollisuus mereen purkautuvia ainemääriä laskettaessa mahdollisimman automaattisesti on nähty arvokkaaksi. Niinpä tässä työssä on hahmoteltu ja sovellettu systeemiä, joka poimii lähtötiedot suoraan vesihallituksen vedenlaaturekisteristä ja virtaamarekisteristä.

Huuhtoutumislaskelmia on Suomessa tehty vuodesta 1908 lähtien (Aschan 1906). Tavoitteena on yleensä ollut kemiallisen denudaation kokonaismäärän mittaaminen veden kuljettamien aineiden perusteella. Myöhemmistä tutkimuksista on huomattava mm. Viron (1953), Ryhäsen (1968) ja Lahermon (1970) työt. Mielenkiintoisen vertailuaineiston tarjoavat vesiensuojeluviranomaisten vuodesta 1962 lähtien pieniltä valuma-alueilta kokoamat huuhtoutumatiedot (vrt. Särkkä 1971), joista viimeksi Ranta-Pere (1974) on pyrkinyt laskemaan typen ja fosforin huuhtoutumiskertoimia.

Ravinteiden ja orgaanisen aineksen huuhtoutumismekanismit jäävät mielenkiintoisuudestaan huolimatta tässä yhteydessä vaille yksityiskohtaista tarkastelua, kun tilannetta lähestytään meren ainetaseen kannalta. Valuma-alueen pinta-alayksikköä kohti lasketut ainemäärät vaikuttavat julkaistujen huuhtoutumista koskevien tietojen valossa luontevilta. Lounais-Suomen kohdalla tulee selvästi näkyviin maaperän laadun ja asukastiheyden usein mainittu vaikutus huuhtoutumiseen, hajakuormitukseen ja veden laatuun (vrt. Laaksonen 1970). Myös vesistöalueen koosta ja järvisyydestä riippuva viipymä (vrt. Salo & Voipio 1973, Eriksson 1974) on ilmeisen tärkeä tekijä aineiden kulkeutumisessa. Jokivesien kuljettamien aineiden lisäksi on meren ainetaseita tarkasteltaessa otettava huomioon lukuisia muita tekijöitä (vrt. Voipio & Salo 1971, Haapala 1972, Voipio 1973).

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 HAVAINTOPAIKAT

Jokiveden mukana purkautuvia ainemääriä laskettaessa ovat perustana vesiviranomaisen ns. virtapaikkaverkolla tekemät laatuhavainnot ja samoja vesistöjä (kuva 1) koskevat virtaamatiiedot. Eräiden vesistöjen ainevirtaamia on mahdollista tarkastella lisäksi IHD-ohjelman puitteissa kuukausittain otettujen vesinäytteiden valossa. Ainevirtaamat on laskettu pitouksien ja virtaamien tulona.

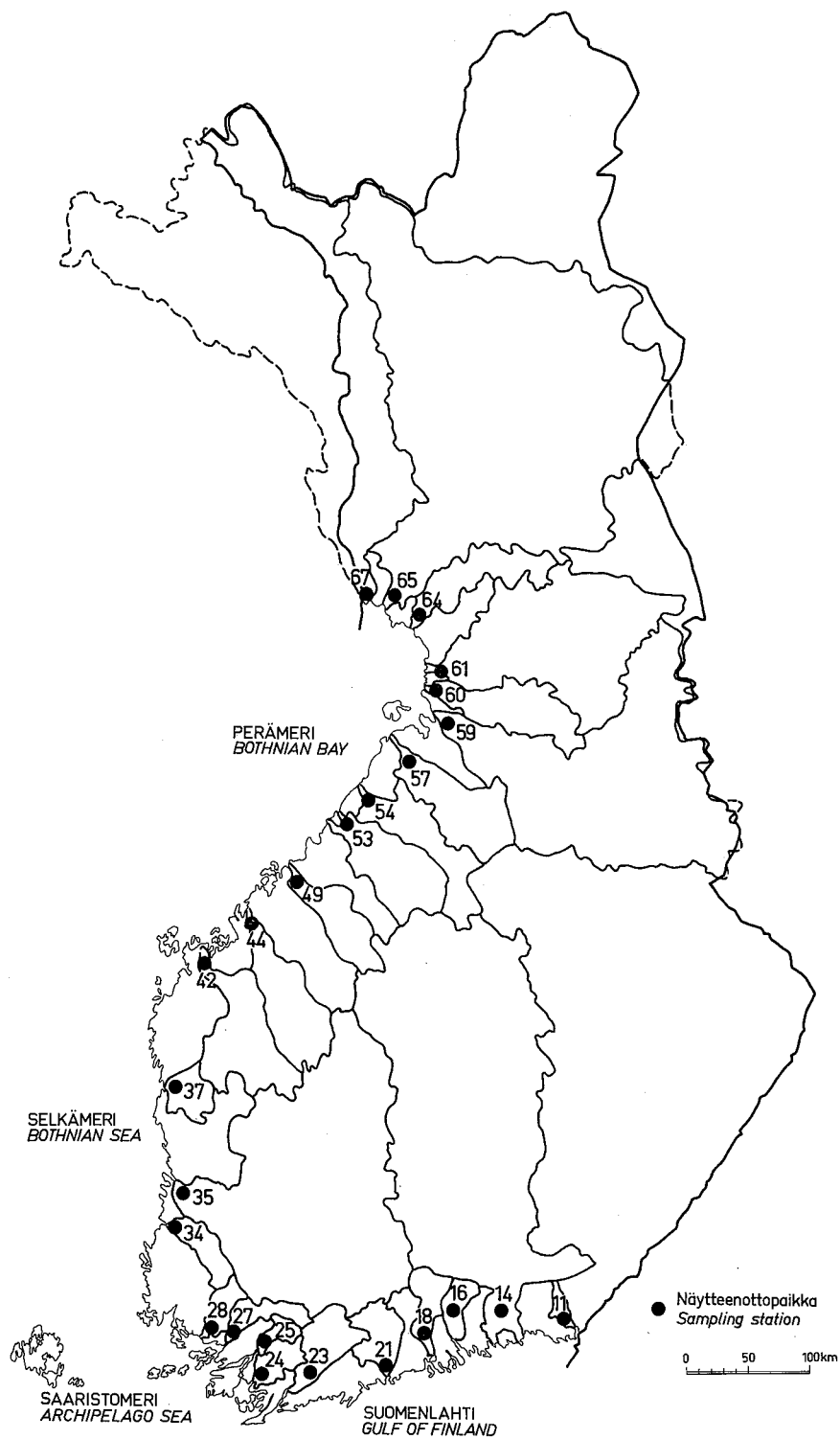
Suomessa purkautuu vesiä Itämereen keskimäärin $81,7 \text{ km}^3$ vuodessa (Simojoki 1966). Ne jakautuvat seuraavasti:

Suomenlahteen	$13,5 \text{ km}^3/\text{v}$
Saaristomereen ja Selkämereen	$13,7 \text{ km}^3/\text{v}$
Perämereen	$54,5 \text{ km}^3/\text{v}$

Yhdessä nämä vedet edustavat noin 75 prosenttia virtaamasta koko maan alueelta. Loput 25 prosenttia purkautuvat Jäämereen ja Vienanmereen tai Vuoksen kautta Laatokkaan. Yllä esitettyä merialuejakoa on päädytty noudattamaan lähinnä siitä syystä, että tulokset soveltuisivat kansainvälisessä yhteistyössä naapurimaiden kanssa käytettäväksi (vrt. esim. Voipio 1973, Dahlin 1973).

Eri merialueilla laskee Suomessa yhteensä 57 vesistöalueiden yleisjakoehdotuksessa (Seuna 1971) numeroitua jokivesistöä. Niiden valuma-alueiden yhteenlaskettu pinta-ala on noin $230\,000 \text{ km}^2$. Alueittain ne jakautuvat siten, että Perämereen vetensä purkava valuma-alue on suurempi kuin Suomenlahteen, Saaristomereen ja Selkämereen Suomessa purkautuvat alueet yhteensä:

	Vesistöalueita kpl	Valuma-alue km^2
Suomenlahti	13	47 000
Saaristomeri ja Selkämeri	18	41 000
Perämeri	26	142 000



Kuva 1. Näytteenottopaikat ja yläpuoliset vesistöalueet
 Fig. 1. Sampling stations and their river basins.

Numeroitujen vesistöalueiden lisäksi vesiä purkautuu Itämereen ns. pieniltä rannikko- ja väli-alueilta sekä saaristosta. Yhdessä ne edustavat arviolta 1...2 prosenttia Suomen pinta-alasta. Laskelmiin sisältynee useitakin tämän suuruusluokan epätarkkuuksia, joten mainitut pienet alueet on jätetty ottamatta huomioon.

Ainevirtaamalaskelma perustuu 24 vesistöaluetta koskeviin virtaama- ja laatutietoihin. Näistä kuusi laskee Suomenlahteen, seitsemän Saaristomereen tai Selkämereen ja 11 Perämereen. Havaintopaikkojen peittävyys numeroitujen vesistöalueiden koko valuma-alueesta on Suomenlahdella ja Perämerellä noin 90 prosenttia sekä Saaristomeren ja Selkämeren alueella noin 75 prosenttia. Itämereen Suomessa purkautuvien jokivesien suhteen tämä merkitsee hieman alle 90 prosentin peittävyyttä.

Taulukko 1. Itämereen Suomessa purkautuvia vesistöalueita.

Table 1. River basins discharging to the Baltic in Finland

Vesistöalue <i>River basin</i>			Valuma-alueen ala <i>Drainage area</i>	Järvisyys <i>Lake percentage</i>
No	Nimi	Name	km ²	%
Suomenlahti <i>Gulf of Finland</i>				
11	Virojoen vesistöalue		360	4,8
14	Kymijoen vesistöalue		37 235	19,1
16	Koskenkylänjoen vesistöalue		887	4,7
18	Porvoonjoen vesistöalue		1 266	1,6
21	Vantaanjoen vesistöalue		1 685	2,5
23	Karjaanjoen vesistöalue		2 050	12,1
Saaristomeri ja Selkämeri <i>Archipelago Sea and Bothnian Sea</i>				
24	Kiskonjoen-Perniönjoen vesistöalue		1 033	6,6
25	Uskelanjoen vesistöalue		593	1,1
27	Paimionjoen vesistöalue		1 092	1,6
28	Aurajoen vesistöalue		860	0,1
34	Eurajoen vesistöalue		1 327	13,2
35	Kokemäenjoen vesistöalue		27 040	11,1
37	Lapväärtinjoen vesistöalue		1 112	0,2
Perämeri <i>Bothnian Bay</i>				
42	Kyrönjoen vesistöalue		4 920	0,8
49	Perhonjoen vesistöalue		2 515	2,6
53	Kalajoen vesistöalue		4 308	1,8
54	Pyhäjoen vesistöalue		3 669	5,3
57	Siikajoen vesistöalue		4 334	1,5
59	Oulujoen vesistöalue		22 572	11,4
60	Kiiminginjoen vesistöalue		3 660	3,4
61	Iijoen vesistöalue		14 319	5,7
64	Simojoen vesistöalue		3 121	6,2
65	Kemijoen vesistöalue		50 910	2,9
67	Tornionjoen vesistöalue		14 045 ⁽¹⁾	4,6

(1 Suomen puolella oleva osa

Taulukon 1 tiedot on koottu julkaisusta Suomen vesistöalueet (Seuna 1971), jossa esitetty vesistöjen yleisjako perustuu aikaisempaan Suomen vesistöaluejakoon (Siren 1955). Vaikkapinta-alatiedot on ilmoitettu jopa yhden neliokilometrin tarkkuudella, on todellinen mittaustarkkuus heikompi. Suhteellinen poikkeama on yleensä muutaman prosentin luokkaa. Havaintopaikat sijaitsevat sen verran jokisuusta sisämaahan päin, että meriveden vaikutus ei sinne ulotu. Kansainvälisen suosituksen mukaisesti niiden yläpuolelle tulisi jäädä vähintään 75 % ko. vesistöjen yhteenlasketusta valuma-alueesta (vrt. Second Meeting of Experts on the Water Balance of the Baltic Sea, 1972).

2.2 VEDEN LAATUA KUVAAVAT TIEDOT

Vesistöjen veden laadun järjestelmällinen seuranta alkoi viranomaisorganisaation toiminnan käynnistyttyä 1962, jolloin perustettiin nykyisin noin 170 havaintopaikkaa käsittävä virtapaikkaverkko. Näytteet on otettu metrin syvyydestä neljästi vuodessa:

1...10 maaliskuuta

10...20 toukokuuta

10...20 elokuuta ja

20...31 lokakuuta.

Analyysitulokset on julkaistu "Vesiensuojelutoimiston tiedonantoja" -sarjan julkaisuissa 2, 9, 17, 23, 31, 36 ja 46 (1963-1969) sekä "Vesihallituksen tiedotus" -sarjan julkaisuissa 1a (1972) ja 45 (1973). Aineistoa on aikaisemmin tarkasteltu havaintopaikkakohtaisesti (Laaksonen 1970). Näissä tutkimuksissa on käsitelty yksityiskohtaisesti aineiston hankintaa. Laboratoriomenetelmistä on julkaistu erillinen katsaus (Haapala & Erkomaa 1971). Virtapaikkojen veden laadun muutoksia 1960-luvulla on myös selvitetty (Laaksonen & Wartiovaara 1973).

Tässä tutkimuksessa on käytetty hyväksi niitä virtapaikkojen seurannassa syntyneitä vedenlaatu-tietoja, jotka koskevat Suomessa mereen purkautuvia jokia (liite 1). Laskelmissa, joissa otetaan huomioon virtaaman ja veden laadun riippuvuus, on käytetty Vesihallituksen vedenlaaturekisteristä elokuussa 1974 havaintopaikkojen koordinaattien perusteella poimittuja tietoja. Myöhemmin rekisteröidyt havainnot ja muutokset, jotka voidaan erottaa tietueisiin liittyvän ATK-päivämäärän perusteella, eivät siten ole mukana. Lisäksi on edellytetty, että tietueiliitty jokitutkimukseen, tutkimuslaitos on jokin vesihallinnon laboratorioista ja näytteenottopäivämäärä välillä 1.1.1970...31.12.1972.

Poiminta koski seuraavien laatumuuttujien arvoja:

Muuttuja No	Merkitys
08	BHT ₇ (Biologinen hapenkulutus 7 vrk aikana)
26	KMnO ₄ -kulutus (hapan keitto Scan-menetelmällä)
28	kiintoaine
32	kokonaisfosfori
36	kokonaistyyppi
49	sähkönjohtokyky ($\%_{20} \mu S/cm$)
50	orgaaninen hiili

IHD-ohjelmaan liittyviltä havaintopaikoilta otettujen vesinäytteiden analyysituloksia on käytetty virtapaikkoja koskevien tietojen lisäksi lähinnä valaisemaan havaintotiheyden vaikutusta joki-veden ainevirtaamista saatavaan kuvaan. Havaintopaikat (liite 3) on kuvattu julkaisussa "IHD Norden, Introductory Volume"(1971a). Analyysitulokset puolestaan on julkaistu saman sarjan osissa "Basic Data 1965-1969"(1971b) ja "Basic Data 1970-1971" (1973).

2.3 VIRTAAMATIEDOT

Virtaamatiedot, joilla pitoisuudet on painotettava pyrittäessä lähestymään ns. ainevirtaamia, on valittu mahdollisimman läheltä laatuhavaintopaikkoja. Lähteenä on käytetty hydrologian toimiston ylläpitämää virtaamarekisteriä. Kuukausien ja pitempien jaksojen keskivirtaamat on julkaistu hydrologisissa vuosikirjoissa (1963...1972). Mittauspaikkojen perustiedot (liite 2) ovat samoista lähteistä. Ainevirtaamalla ymmärretään tässä vesistön tietyn poikkileikkauksen aikayksikössä ohittavaa ainemäärää.

IHD-havaintopaikkoja kuvaavat tiedot ovat julkaisusta IHD Norden, "Introductory Volume" (1971a). Näihin liittyvinä, näytteenottopäivää edustavina virtaamina on käytetty saman sarjan osissa "Basic Data 1965-1969" (1971b) ja "Basic Data 1970-1971"(1973) julkaistuja tietoja.

2.4 ERI PAINOTUSMAHDOLLISUUKSIA

Pyrittäessä laskemaan tai arvioimaan ainevirtaamia on turvauduttava veden määrän so. virtaaman ja sen sisältämien eri aineiden pitoisuuksien - veden laatutietojen - kertomiseen keskenään. Toinen mahdollinen lähestymistapa olisi arvioida vesistöön joutuvat ainemäärät eri kohdissa ja kuvata niiden kulkeutuminen sopivalla matemaattisella mallilla. Viimeksi mainittu menettely olisi sikäli edullinen, että se tarjoaisi kvantitatiivisia yhteyksiä valuma-alueen tapahtumiin. Toimiva malli vaatii kuitenkin päättelyehtoina suuren joukon lähtötietoja todellisista tilanteista. Riittävän runsaita ja luotettavia tietoja on harvoin saatavissa, mutta yrityksiä

tähänkin suuntaan on tehty. Menetelmä, joka toisi varmaa tietoa ainevirtaamista tietyn vesistön poikkileikkauksen kohdalla, olisi tärkeä väline kehittyneempien malliratkaisujen tavoittelussa. Toisin sanoen vesistön tiettyä poikkileikkausta koskevat ja kulkeutumismekanismia tutkivat lähestymistavat ovat toisiaan täydentäviä, eivät vaihtoehtoisia.

Käytännössä virtaamatiedot ovat usein saatavissa päivittäisinä, mutta pitoisuustiedot pitemmin aikaväleihin. Eri painotusmenetelmien käyttökelpoisuuden kriteeriksi voidaan esittää sitä, miten lähelle päästään tulosta, joka saataisiin painotettaessa päivittäisiä virtaamatietoja päivittäisillä pitoisuustiedoilla.

Muutkin pitoisuustietojen vaihtelun selittäjät kuin virtaama ja kalenterivuoden ajankohta voivat parantaa ainevirtaamalaskelmaa. Niiden tulee kuitenkin liittyä mielekkäällä tavalla vesistön tapahtumia määääviin prosesseihin, jolloin lähestytään malliajattelua. Virtaaman ja vuodenajan selittävyys on viime kädessä sään ja aluetekijöiden vaihteluiden heijastuma (vrt. Mustonen 1965). Kulttuurin vaikutukset näyttävät ilmenevän tuloksissa etupäässä satunnais-hajontana ja systemaattisina muutoksina. Näiden erottaminen luontaisista, eri pituisina jaksoina ilmenevistä syklisistä vaihteluista (vrt. esim. Mustonen 1973, Thompson 1973) edellyttäneen veden laatua koskevia säännöllisiä havaintoja pitemmältä ajalta kuin nyt on käytettävissä.

Yksinkertaisimmat painotusmenettelyt ovat sellaisia, joissa pitoisuushavainnon katsotaan edustavan veden laatua tiettyinä aikajaksona, ja vastaavat ainevirtaamat lasketaan sitten yhteen koko vuoden ainevirtaamaksi. Heikkouksia ilmenee näytteenoton ollessa epäsäännöllistä tai pitoisuuksien korreloidessa virtaaman kanssa. Luonnollisen kausivaihtelun aiheuttama harha jää suuruudeltaan tuntemattomaksi. Ainakin seuraavat menettelytavat ovat tarjolla:

- a. Lasketaan koko vuoden laatuhavaintojen keskiarvo, joka kerrotaan vuoden aikana purkautuvalla vesimäärällä.
- b. Katsotaan kunkin laatuhavainnon edustavan aikajaksoa näytteenottointervallin puolivälistä seuraavaan puoliväliin.
- c. Otaksutaan laatuhavaintojen edustavan tiettyjä kuukausia tai vuodenaikoja.
- d. Oletetaan pitoisuuden muutos havainnosta seuraavaan havaintoon jatkuvaksi ja lineaariseksi (palautuu kohtaan b).

Useihin käytännön tarpeisiin kohdan a menettely tuottaa riittävän tarkkoja ainevirtaamia, kunhan pitoisuuksissa ei ilmene voimakasta riippuvuutta virtaamasta tai vuodenajasta. Näiden huomioonottaminen käy päinsä tutkimalla laadun ja määrän välistä regressiota tai aikasarja-analyysin keinoin jaksollista vaihtelua. Veden laadun on oletettava olevan yhteydessä havaintoa edeltäneen aikajakson virtaamiin, joten on suositeltu esimerkiksi 30 edellisen vuorokauden virtaamien käyttöä laatutiedon painotukseen (Salo & Voipio 1973).

Erittelyn painotusmahdollisuuksista on esittänyt mm. Brink (1970), jonka neljä menetelmää voidaan kuvata seuraavilla suureyhtälöillä:

Samanaikaiset virtaama-
ja pitoisuusmittaukset:

$$T = \frac{1}{an} \sum_{i=1}^n q_i c_i \quad (1)$$

Tiheät virtaamamittaukset
ja harvemmat pitoisuushavainnot:

$$T = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt \quad (2)$$

Pitoisuuksien aritmeettinen keskiarvo
painotettuna purkautuvalla vesimäärällä:

$$T = \frac{A}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (3)$$

Vesimäärällä painotetut pitoisuuksien
aritmeettiset keskiarvot:

$$T = A \frac{\sum_{i=1}^n q_i c_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \quad (4)$$

T = ainevaluma
a = valuma-alueen pinta-ala
n = havaintojen lukumäärä
q_i = virtaama
c_i = pitoisuus
t = aika
A = valunta

Vaihtoehto 2 edustaa käytännössä yleistä tilannetta. Se tarjoaa myös mahdollisuuden pitoisuuksien ja virtaaman välisen korrelaation hyväksikäyttöön. Käytännön laskutoimituksia varten funktion muoto on luonnollisesti täsmennettävä tai turvauduttava graafiseen integrointiin.

2.5 LASKENTAMENETELMÄT

Ensimmäisessä vaiheessa on laadittu arvio jokiveden mukana mereen kulkeutuvista ainemääristä vuonna 1970 tehtyjen havaintojen perusteella. Neljästi vuodessa kootut laatutiedot on painotettu yksinkertaisesti vuoden keskivirtaamilla (vrt. yhtälö 1):

$$T = 31,536 \frac{MQ}{a} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i, \text{ kun} \quad (5)$$

T = ainevaluma kg/km²v
a = valuma-alueen koko km²
n = havaintojen lukumäärä vuoden aikana
MQ = keskivirtaama l/s
c_i = pitoisuus mg/l.

Toisessa vaiheessa on tarkasteltu pitoisuuden ja näytteenottopäivän virtaaman välistä riippuvuutta. Näin on saatu regressiofunktio, josta voidaan päivittäin tehtyjen virtaamahavaintojen perusteella laskea kullekin päivälle pitoisuuden tai ainevirtaaman regressioarvo:

$$U = \sum_{i=1}^n Q_i c_i, \text{ kun} \quad (6)$$

U = jakson aikana purkautuva ainemäärä
 n = jakson päivien lukumäärä
 Q_i = päivittäinen virtaama
 c_i = pitoisuuden regressioarvo

Metodiselta kannalta ei ole välttämätöntä, että regressioyhtälön

$$c = f(Q) \quad (7)$$

kertoimet on ratkaistu täsmälleen saman pituiselta aikajaksolta kuin mille ainevirtaamia summataan. Tuloksia on myös verrattu laskelmaan, joka saadaan painottamalla päivittäiset virtaamat pitoisuuksilla, joiden katsotaan edustavan veden laatua näytteenottointervallin puolivälistä seuraavan intervallin puoliväliin:

$$U = \sum_{j=1}^m c_j \sum_{i=1}^n Q_{ij}, \text{ kun} \quad (8)$$

U = jakson aikana purkautuva ainemäärä
 m = näytteenottokertojen lukumäärä
 c_j = pitoisuus
 n = päivien lukumäärä näytteenottointervallin puolivälistä seuraavan intervallin puoliväliin
 Q_{ij} = päivittäinen virtaama

Pitoisuuksien ja virtaaman välisen korrelaation hyväksikäytössä ainevirtaamia laskettaessa avautuu kaksi mahdollisuutta. Yhteys voidaan ottaa huomioon ainoastaan niissä havaintosarjoissa, joissa se on tilastollisesti merkitsevä, tai voidaan pyrkiä kehittämään yleispätevä algoritmi, joka tuottaa joka tapauksessa hyväksyttäviä tuloksia. Kummassakin tapauksessa yhteyden hyväksikäyttö luonnollisesti on kannattavaa ainoastaan silloin, kun virtaamahavaintoja on pitoisuushavaintoihin verrattuna tehty tiheästi, esimerkiksi päivittäin. Seuraavassa pyritään hahmottelemaan automaattiseen tietojenkäsittelyyn soveltuva menetelmä, jonka turvin mahdollisen korrelaation arvioihin tuoma lisätarkkuus voitaisiin sopivasti ottaa huomioon riippumatta sen tilastollisesta merkitsevyydestä.

Karkeasti ottaen veden määrän ja laadun välinen yhteys voitaisiin olettaa seuraavan muotoiseksi:

$$C = \frac{a}{Q} + b + cQ, \text{ missä} \quad (9)$$

C = jonkin aineen konsentraatio jokivedessä
 Q = aikayksikössä purkautuva vesimäärä
 a , b , ja c ovat tietylle aineelle, havaintopaikalle ja aikajaksolle luonteenomaisia vakioita.

Tekijä a edustaa virtaamasta riippumatonta ainelisäystä jokeen. Sen vaikutus todettavaan konsentraatioon perustuu suorassa suhteessa tapahtuvaan laimenemiseen.

Tekijä b edustaa vesimäärästä lineaarisesti riippuvaa ainelisäystä, joka konsentraatiossa ilmenee vakion suuruisena. Jokeen tulevan veden voidaan ajatella sisältävän aina tietyn pitoisuuden ko. ainetta.

Tekijä c' voidaan ajatella kertoimeksi, joka kuvaa veteen joutuvan ainemäärän epälineaarista riippuvuutta vesimäärästä.

Edellä on ajateltu yhtälön termeille helposti ymmärrettävä merkitys veteen joutuvien ainemäärien ja virtaaman konsentraatioon kohdistuvan vaikutuksen kuvaajina. Käytännössä tietyllä havaintopaikalla saataviin mittaustuloksiin sisältyy luonnollisesti myös vesistössä tapahtuvien muiden kuin sekoittumisilmiöiden vaikutus sekä satunnais- ja virhevaihtelua. Siten yhtälön kertoimet on ymmärrettävä nimenomaan havaintopaikkaan ja ajankohtaan liittyviksi pikemmin kuin tiettyä vesistöä luonnehtiviksi. Kertoimien määrittämiseen tarvitaan riittävä määrä virtaama- ja laatuhavaintoja sekä sopiva menetelmä regressioanalyysin suorittamiseksi. Yksinkertaisuuden vuoksi on aluksi tutkittu riippuvuutta samana päivänä tehtyjen virtaama- ja laatuhavaintojen välillä. Todellisuudessaahan on oletettava veden laadun useimmiten olevan yhteydessä laatuhavaintoja edeltäneen jakson virtaamiin.

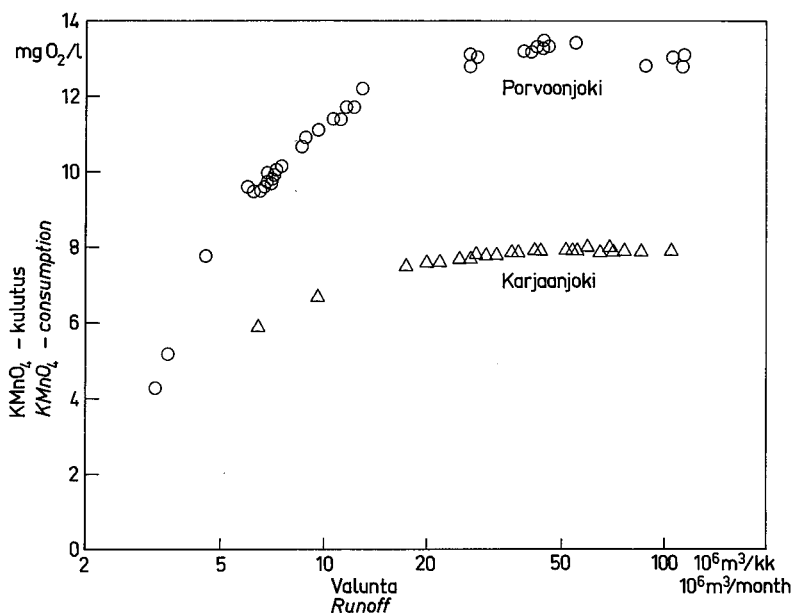
Edellä kuvatun muotoista regressioyhtälöä on sellaisenaan vaikea ratkaista. Kertoimille saadaan kuitenkin arvot suhteellisen helposti, kun suoritetaan seuraava muunnos. Kyseinen parabelin yhtälö voidaan kirjoittaa muotoon:

$$Y = a + bQ + cQ^2, \text{ jossa} \quad (10)$$

$$CQ = Y \quad (11)$$

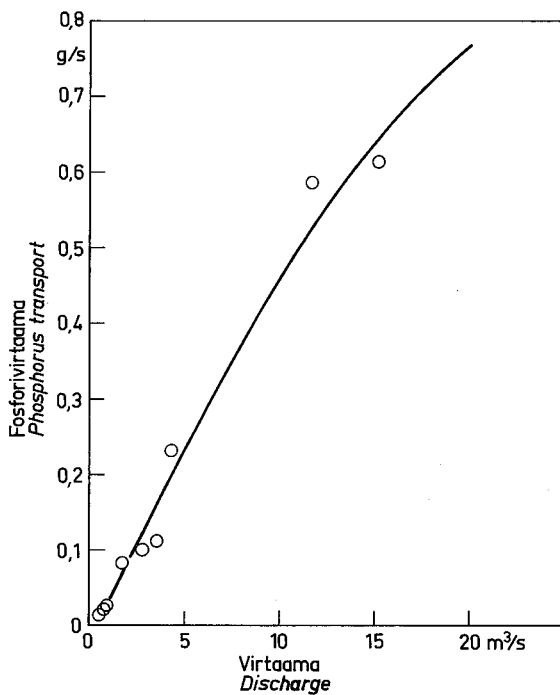
Tässä Y on konsentraation ja virtaaman tulona saatava ainevirtaama (kuvat 2 ja 3).

Kun havaintoaineiston edustamilta havaintopaikoilta saatuja tuloksia halutaan käyttää Itämereen Suomesta jokivesien mukana purkautuvien ravinnemäärien laskemiseen, tarjoutuu useita painotusmahdollisuuksia. Yksinkertaisinta on käyttää keskimääräisiä ainevalumia ja korjata niitä valuma-alueiden peittävyiden suhteessa. Toinen tapa olisi laskea havaintopaikkakohtaisista ainevalumista valuma-alueiden koolla painotettu keskiarvo. Tällöin on kysymyksessä sama tulos, joka saataisiin laskemalla keskiarvo eri havaintopaikoille arvioituista vuotuisista tonnimääristä.



Kuva 2. KMnO_4 -kulutuksen ja kuukaudessa purkautuvan vesimäärän yhteys virtaaman ja ainevirtaaman välisen regression perusteella.

Fig. 2. The relation between KMnO_4 -consumption and monthly runoff on the basis of regression between daily runoff and material transport.



Kuva 3. Virtaaman ja fosforivirtaaman yhteys Virojoessa (epälineaarisuus ei ole tilastollisesti merkitsevä).

Fig. 3. Correlation between discharge and phosphorus transport in Virojoki (the nonlinearity is statistically insignificant).

3. TULOKSET

3.1 VEDEN LAADUN JA VIRTAAAMAN KORRELAATIO

3.11 IHD-havainnot

Veden ominaisuuksien ja virtaaman riippuvuus paljastaa, että päivittäisiä virtaamahavaintoja voidaan kenties käyttää ainevirtaamalaskelmissa hyväksi muutenkin kuin purkautuneen vesimäärän kuvaamiseen. Tarkastelu on toteutettu IHD-jokitutkimuksen 1965...69 havaintojen pohjalta. Laatuparametrit ovat sähkönjohtokyky, kokonaistyyppi, kokonaisfosfori ja kaliumpermanganaatin kulutus. Koko aineiston yli lasketut korrelaatiokertoimet muodostuvat negatiivisiksi ja 95 prosentin luotettavuustasolla merkitseviksi, kun tehtävänasettelun kannalta epäolennaista satunnaishajontaa pienennetään käyttämällä virtaamatietojen sijasta niiden luonnollisia logaritmeja.

Virtaaman luonnollisen logaritmin ja veden lauluhavaintojen välinen korrelaatio IHD-jokitutkimuksen aineistossa 1965...69.

	R
Sähkönjohtokyky	- 0,26
Kok. N	- 0,27
Kok. P	- 0,20
KMnO ₄ -kulutus	- 0,10

Asetelmassa on mukana myös havaintopaikkojen välinen varianssi. Siten pienet pitoisuudet näyttävät liittyvän joko suuriin jokiin tai runsasvetisiin ajankohtiin. Havaintopaikkakohtaiset samalla luotettavuustasolla merkitsevät korrelaatiokertoimet ovat sähkönjohtokyvyn suhteen kaikki negatiivisia. Muiden muuttujien kohdalla esiintyy myös positiivista riippuvuutta. Taulukon 2 korrelaatiokertoimet on laskettu, kuten edelliset, virtaamien luonnollisten logaritmien perusteella. Laskelmaan sisältyy myös Vuoksi (havaintopaikat 817 ja 818).

Taulukko 2. Virtaaman luonnollisen logaritmin ja veden laatuhavaintojen väliset korrelaatiokertoimet IHD-jokitutkimuksen aineistossa 1965-69.

Table 2. Correlation coefficients between water quality and LN runoff in IHD-rivers 1965...1969.

Havaintopaikka (vrt. liite 3) <i>Sampling station</i>	Sähkönjohto- kyky <i>Conductivity</i>	Kokonais- typpi <i>Tot. N</i>	Kokonais- fosfori <i>Tot. P</i>	KMnO ₄ -kulutus <i>KMnO₄-consumption</i>
801	0,26	0,09	-0,51***	0,37*
802	-0,23	0,64**	0,47*	0,34
804	-0,37*	0,23	0,43**	0,58***
805	-0,74***	0,03	-0,29	0,61**
806	-0,40	0,65**	0,59*	0,74***
807	0,16	0,39	-0,35	-0,03
808	-0,75***	..	0,20	..
809	-0,88***	..	-0,05	..
810	-0,29	-0,10	-0,19	-0,59**
811	-0,36*	0,17	-0,28	0,31*
812	-0,11	0,10	0,14	0,45**
813	-0,53***	-0,13	0,04	0,32*
814	-0,91***	0,19	-0,03	0,77***
815	-0,79***	0,30	-0,48	0,86***
816	-0,91***	0,09	0,40	0,87***
817	-0,11	-0,18	-0,44	-0,58**
818	-0,11	-0,12	0,61***	0,57***
819	-0,63***	-0,29	0,15	0,65***

* $P \leq 0,05$

** $P \leq 0,01$

*** $P \leq 0,001$

Havaintosarjat ovat eri pituisia, joten korrelaatiokertoimien tilastollinen merkitsevyys on parempi riippuvuuden mitta kuin itse kertoimet. Laskutoimitusten suorittaminen alkuperäisten virtaamatietojen perusteella ilman logaritmistä transformaatiota toisi 95 prosentin luotettavuusrajan sisäpuolelle lisäksi yhteyden fosforipitoisuuteen havaintopaikalla 816. Ulkopuolelle jäisivät yhteydet kaliumpermanganaatin kulutukseen havaintopaikoilla 811 ja 813.

Useimmissa näissä vesistöissä näyttää vesilitraa kohti purkautuvan sitä vähemmän elektrolyyttejä, mitä suurempi virtaama on. Ilmiö on selvin sellaisissa paikoissa, missä inhimillisen kulttuurin vaikutus veden laatuun tiedetään suhteellisen vähäiseksi. Pitoisuuksien ja virtaaman riippuvuudessa kuvautuu vesistöön joutuvan elektrolyyttimäärän laimeneminen runsasvetisenä aikana.

Kokonaistypen pitoisuuden yhteys virtaamaan on Aurajoessa ja Kemijoessa positiivinen. Runsasvetisenä aikana joessa purkautuu tiettyä vesitilavuutta kohti tavallista enemmän typpiyhdisteitä. Positiivinen yhteys kokonaisfosforin pitoisuuden ja virtaaman kesken paljastuu Kemijoen ja Aurajoen lisäksi Kokemäenjoen ja Vuoksen latvoilla Kituskoskella ja Roukkajankoskella. Sen sijaan Kyrönjoen alajuoksulla yhteys on negatiivinen.

Kaliumpermanganaatin kulutuksen ja virtaaman välinen yhteys puuttuu havaintopaikoilta 802 ja 807. Kymijoen alajuoksulla Pernoossa ja Vuoksessa Imatralla yhteys on negatiivinen. Näissä suurissa runsasjärvisissä vesistöissä keskimääräinen viipymä on pitkä, joten laimenemisen osuus pitoisuustietojen vaihtelussa runsasvetisenä aikana näyttää luonnolliselta. Muilla havaintopaikoilla virtaaman ja veden kaliumpermanganaatin kulutuksen välillä vallitsee positiivinen yhteys. Tulvan mukana kulkeutuu vesitilavuutta kohti enemmän humusta kuin muulloin.

Virtaaman yhteydet veden elektrolyyttipitoisuuteen ja happea kuluttavien aineiden määrään ovat Suomen vesistöissä ilmeisesti yleisiä ja keskenään vastakkaissuuntaisia. Pääravinteiden, typen ja fosforin, suhteen tilanne ei ole aivan selvä. Joitakin yhteyksiä esiintyy, mutta kulkeutumismekanismi vesistössä on mutkikas. Tässä ei ole mahdollista puuttua yksityiskohtaisesti kausaalisuhteisiin, jotka heijastuvat korrelaatioina. Tarkoituksena on osoittaa niiden yleisyys ainevirtaamien laskentamenetelmää silmällä pitäen.

Kun lähdetään siitä, että käytetään samaa laskentatapaa riippumatta pitoisuuden ja virtaaman välisen korrelaation tilastollisesta merkitsevyydestä, mallin kokonaisselittävyys on menetelmän käyttökelpoisuuden mitta kussakin erillisessä tapauksessa. Näitä selittävyksiä tarkastellaan seuraavassa muutamien havaintopaikkojen ja laatuparametrien osalta. Aineistona on käytetty IHD-jokitutkimuksen laatu-tietoja sekä näytteenottopäivien virtaamia virtaamarekistereissä. Satunnaisesti puuttuvat laatu-tiedot on korvattu ko. havaintosarjan keskiarvolla.

Taulukko 3. Regressiomalliin $CQ=a+bQ+cQ^2$ perustuvassa laskelmassa käytettyjen, IHD-jokitutkimukseen liittyvien vedenlaatuhavaintojen lukumäärät (C=konsentraatio, Q=näytteenottopäivän virtaama).

Table 3. The number of observation pairs in regression analysis of some IHD-rivers, on the basis of model $CQ=a+bQ+cQ^2$ (C=concentration, Q=daily runoff).

Vesistö River	Vuosijakso Years	Havaintojen luku Number of observations
801 Kyrönjoki	1965...70	44
802 Aurajoki	1967...69	19
805 Siikajoki	1965...70	24
806 Kemijoki	1968...69	18
808 Iijoki	1965...70	72

Taulukko 4. Regressiomallin $CQ=a+bQ+cQ^2$ selittävyys (R^2) eräillä IHD-havaintopaikoilla (C=konsentraatio, Q=näytteenottopäivän virtaama).

Table 4. The explanation coefficients (R^2) of model $CQ=a+bQ+cQ^2$ on some IHD-stations (C=concentration, Q=daily runoff).

Sähkönjohtokyky Conductivity	Kokonaisfosfori Tot. P	Kokonaistyyppi Tot. N	KMnO ₄ -kulutus KMnO ₄ -consumption
801 0,90	0,88	0,91	0,96
802 0,99	0,99	0,99	0,98
805 0,94	0,90	0,96	0,96
806 0,93	0,99	0,99	0,99
808 0,91	0,82	0,98	..

Regressiomallit, jotka edellä kuvatulla tavalla ottavat huomioon veden laadun ja virtaaman välisen riippuvuuden, selittävät varsin hyvin havaintopäivän virtaaman ja todetun pitoisuuden tulona saatavien ainevirtaamien vaihtelun. Fosforin kohdalla tulos on heikoin, mikä johtunee kemiallisen määritystarkkuuden alittavien pitoisuuksien korvaamisesta ko. tarkkuuden alarajan ilmaisevalla pitoisuudella. Muiden muuttujien kohdalla ainevirtaamien vaihtelua kuvaavasta neliösummasta selittyy vähintään 90 prosenttia.

3.12 Rekistereistä poimittu aineisto

Vedenlaaturekisteristä ja virtaamarekisteristä poimittujen havaintojen välillä paljastuulukuisia merkitseviä korrelaatioita (liitteet 10 ja 11).

Elektrolyyttipitoisuuden ja näytteenottopäivän virtaaman välinen yhteys on systemaattisesti käänteinen. Suuriin virtaamiin liittyy kaikilla havaintopaikoilla pieni sähkönjohtokyky. Kiinto-ainepitoisuudet taas ovat suurimmillaan suurten virtaamien vallitessa. Muiden laatumuuttujien ja virtaaman välistä lineaarista korrelaatiota tutkittaessa saadaan positiivisia tai negatiivisia korrelaatiokertoimia havaintopaikasta riippuen.

Saatuja kertoimia ei ole syytä yleistää kyseisiä vesistöjä tai edes havaintopaikkoja koskeviksi. Ne luonnehtivat ainoastaan sitä aineistoa, joka rekistereissä on valituilla ehdoilla ollut saatavilla.

3.2 ARVIO JOKIVEDEN KULJETTAMISTA AINEMÄÄRISTÄ KESKIVIRTAAMIEN PERUSTEELLA 1970

Eri aineiden merkityksestä meren kuormittajina on esitetty vaihtelevia kannanottoja. Kun tavoitteena on tilanteen kuvaaminen jokivesistöjen alajuoksulla, on alustavaan laskelmaan uskallettu koota muitakin kuin fosforipitoisuuksia edustavia tuloksia.

Vuonna 1970 tavallisimmin neljästi otettujen vesinäytteiden analyysituloksista havaintopaikoittain lasketut keskiarvot (liitteet 4 ja 5) vaihtelevat koko rannikkoalueella seuraavissa rajoissa:

Taulukko 5. Jokiveden laadun vaihtelu rannikolla 1970.

Table 5. The variation of water quality in rivers on the coast in 1970.

Laatuparametri Water quality parameter		Vaihtelurajat Variation limits
kiintoaine	suspended solids	mg/l 4...78
sähkönjohtokyky	conductivity	μS/cm 29...164
kokonaistyp	total nitrogen	mg/l 0,3...2,9
kokonaisfosfori	total phosphorus	mg/l 0,01...0,26
KMnO ₄ -kulutus	KMnO ₄ -consumption	mg/l 26...104
orgaaninen hiili	organic carbon	mg/l 7,2...21,4
biologinen hapenkul.	biological oxygen demand	mg/l 1,2...5,2

Kun mänä keskiarvot painotetaan vastaavilla keskivirtaamilla (liite 6), saadaan alustava arvio mereen kulkeutuvista ainemääristä (liitteet 7, 8 ja 9). Elektrolyyttimääriä kuvattaessa elektrolyyttipitoisuuden (mg/l) ja sähkönjohtokyvyn (μS/cm) suhteeksi on oletettu keskimäärin 0,65.

3.3 ARVIO JOKIVEDEN KULJETTAMISTA AINEMÄÄRISTÄ 1970...1972

Painottamalla vesihallinnon rekistereistä saatuja virtaama- ja vedenlaatuhavaintoja on päädytty keskenään varsin yhtäpitäviin arvioihin Itämereen purkautuvista ainemääristä (liitteet 12...15). Regressiomenetelmään liittyvä paraboloidinen kuvaus näyttää tarjoavan mahdollisuuksia tiettyyn ainevirtaamien simulointiin virtaamien perusteella. Pienimmän neliösumman keinolla tavoitetut regressioyhtälöt tarjoavat tien myös riippuvuuden tarkasteluun. Alkuperäisestä yhtälöstä

$$Y = a + bX + cX^2 \quad (10)$$

lähtien voidaan osoittaa, että paraabelimalli on alaspäin avautuvaa tyyppiä, jos kerron c on negatiivinen. Mallien selittävyys on varsin korkeita, joskaan neliötermi ei läheskään aina yllä 5 % riskitasolla merkitseväksi. Saman muotoista yhtälöä on käytetty mm. keskialivaluman analysoinnissa (Mustonen 1971).

4. TULOSTEN TARKASTELU

4.1 VARAUKSIA TULOSTEN TULKINNASSA

Rekistereistä poimitun aineiston peittävyys eri merialueille purkautuvien vesistöjen valuma-alueista on Suomenlahdella (Vuoksen valuma-alue poisluettuna) noin 89 %, Saaristomerellä ja Selkämerellä noin 74 % sekä Perämerellä noin 89 %. Sataa prosenttia vastaavat laskelmassa seuraavat pinta-alat:

Suomenlahti	46 726 km ²
Saaristomeri ja Selkämeri	41 240 km ²
Perämeri	141 703 km ²

Kun näitä osuuksia käytetään korjauskertoina arvioitaessa jokiveden kuljettamia ainemääriä koko rannikolla, saattaa pieni systemaattinen virhe aiheutua laskelman ulkopuolelle jääneen rannikkoalueen erilaisuudesta. Toinen epätarkkuuden mahdollinen lähde on epäilemättä laatu-havaintojen epätasainen jakautuminen ajallisesti. Kolmas varaus tulosten tulkinnassa johtuu siitä, että ns. suora päästö eli lähelle jokisuuta jokeen purkautuvat jätevedet saattavat joillakin havaintopaikoilla ajoittain vaikuttaa veden laatuun. Jokiveteen purkautuva suora päästö on kuitenkin määrältään melko vähäinen verrattuna suoraan mereen johdettuun jätevesikuormitukseen. Siten tästä syystä johtuvat virheet lienevät paikallisia eivätkä vaikuta eri merialueille purkautuvien aineiden kokonaismääriin olennaisesti. Laskelman edustavuus lienee heikoin Selkämerellä, johon purkautuvia ainemääriä hallitsee likaantunut Kokemäki.

Oman lukunsa ainevirtaamalaskelmien kritiikissä muodostavat havaintojen tekoon, näytteiden ottoon ja käsittelyyn, laboratoriomenetelmiin ja tulosten numeeriseen käsittelyyn liittyvät tilastolliset epävarmuustekijät. On täysin selvää, että tarkkaa arviota jokiveden kuljettamista ainemääristä ei voida tehdä, ennenkuin yksityiskohtainen virhetarkastelu näiden eri tekijöiden ja työvaiheiden vaikutuksesta tuloksiin on saatu suoritetuksi. Tässä yhteydessä siihen ei ole ollut mahdollisuutta, vaan tavoitteena on pidetty suuntaa-antavia arvioita ainemääristä.

Kaikki edellä kosketellut varaukset liittyvät tulosten edustavuuteen sinä aikajaksona, jota havainnot koskevat. Lisäksi on huomattava, että mereen kulkeutuvat ainemäärät suurella todennäköisyydellä muuttuvat vuosien mittaan sekä jaksollisesti usean vuoden mittaisiin periodeihin että systemaattisesti esimerkiksi ihmistoimintojen kehittyessä valuma-alueilla. Säätilan läpi-käyvään vaikutukseen liittyy myös epäsäännöllisiä vaihteluja pitkienkin jaksojen aikana.

Jotta laskelmat eivät kaikkien varausten vuoksi tuntuisi kerrassaan epäluotettavilta, on paikallaan viitata erääseen tutkimusaineistojen ominaisuuteen. Kun johonkin tulokseen vaikuttavat hyvin monet erilaiset tekijät, joihin kuhunkin liittyy satunnaista epävarmuutta, on niiden yhteisvaikutuksella taipumus ilmetä normaalisti jakautuneena satunnaishajontana. Tässä tutkimuksessa on päädytty erilaisin menetelmin keskenään varsin yhtäpitäviin arvioihin jokiveden kuljettamista ainemääristä. Tulokset on uskallettu ilmoittaa kahden numeron tarkkuudella, joista jälkimmäinen on ilmeisesti parhaimmillaankin vain suuntaa-antava.

4.2 TYPPI

Jokiveden kuljettamat typpimäärät jakautuvat rekistereistä saatavan aineiston perusteella 1970...1972 seuraavasti:

Suomenlahti	8 500 t/v
Saaristomeri ja Selkämeri	11 000 t/v
Perämeri	26 000 t/v

Mereen päätyy kokonaistyppimäärityksessä esiin tulevaa tyyppiä keskimäärin 200 kg/km^2_v :

Suomenlahti	180 kg/km^2_v
Saaristomeri ja Selkämeri	270 kg/km^2_v
Perämeri	180 kg/km^2_v

Valuma-alueen pinta-alayksikköä kohti lasketut arvot eivät vesistöittäin poikkea paljonkaan vuoden 1970 keskiarvoihin perustuvan laskelman tuloksista. Viro (1953) tavoitti yhden vuoden aikana 1950-luvun alussa kuukausittain tehtyjen havaintojen perusteella Kokemäenjoesta ja Oulujoesta hieman pienempiä typpimääriä, Kymijoesta ja Kemijoesta taas suurempia:

	Viro (1953)	1970...1972
	kg/km^2_v	
Kymijoki	164	130
Kokemäenjoki	180	260
Oulujoki	205	260
Kemijoki	172	90

Ryhmittelemällä Suomen vesistöalueet edelleen siten, että keskimääräistä ainevaluntaa voitaisiin painottaa valuma-aluetyypin osuudella maan pinta-alasta, Viro (1953) sai keskimääräiseksi

typpivalunnaksi 187 kg/km²v. Tämä on varsin lähellä nyt parikymmentä vuotta myöhemmin kootusta aineistosta saatua tulosta 200 kg/km²v, joka tosin ei koske koko maata.

Ruotsin jokivesien Itämereen kuljettama typpivalunta oli 1969 tehtyjen havaintojen (Ahl & Odén 1971) perusteella keskimäärin 147 kg/km²v, josta runsas kolmannes epäorgaanista tyyppiä. Vertaillen tuloksiaan vuosijaksolla 1965...1970 tehtyihin havaintoihin Ahl ja Odén totesivat, että vuotta 1969 koskevat arviot ovat pienempiä kuin koko jakson keskiarvot. Dalälvenistä pohjoiseen typpivalunta oli vain 110 kg/km²v, ja siitä etelään sijaitsevilla vesistöalueilla 276 kg/km²v. Etelässä oli epäorgaanisen tyyppien suhteellinen osuus suurempi.

Suomessa saadaan suurimmat typpivalunnat valuma-alueen pinta-alayksikköä kohti maan eteläisten ja lounaisten osien pienehköistä jokivesistöistä, pienimmät Perämereen purkautuvista vesistöistä ja Kymijoesta. Tämä on havaittu aikaisemmissakin tutkimuksissa.

4.3 FOSFORI

Rekisteröityjen havaintojen keskiarvoista 1970...1972 saadaan eri merialueille jokiveden mukana kulkautuvat fosforimäärät seuraaviksi:

Suomenlahti	610 t/v
Saaristomeri ja Selkämeri	1 200 t/v
Perämeri	1 800 t/v

Neliökilometriä kohti laskettuna tutkimusalueen mereen päätyvä fosforivaluma on keskimäärin 15 kg/km²v. Vastaavat keskiarvot merialueittain ovat seuraavat:

Suomenlahti	13 kg/km ² v
Saaristomeri ja Selkämeri	29 kg/km ² v
Perämeri	13 kg/km ² v

Saaristomeren ja Selkämeren fosforivaluman suuruus muihin verrattuna selittyy osaksi siten, että laskelmaa hallitsee Kokemäenjoen voimakkaasti kuormitetulta alajuoksulta koottu havaintosarja. Tärkein syy lienee kuitenkin Lounais-Suomen maaperän luontainen huuhtoutumisalttius. Viron (1953) tuloksiin verrattuna nyt saadut fosforivalumat ovat Kymijoella, Oulujoella ja Kemi-joella jonkin verran pienempiä. Kysymyksessä ei tarvitse olla fosforivalumien pieneneminen, koska fosforimäärityksen laboratoriomenetelmät ovat muuttuneet. Siten luvut eivät liene keskenään täysin vertailukelpoisia.

	Viro (1953) kg/km ² _v	1970...1972
Kymijoki	26	8
Kokemäenjoki	29	30
Oulujoki	32	15
Kemijoki	18	7

Ruotsista kulkeutui 1969 fosforia mereen jokiveden mukana 9 kg/km²_v (Ahl & Odén 1971). Maan eteläosissa keskiarvo oli 14 kg/km²_v ja Dalälvenin pohjoispuolella 7 kg/km²_v. Fosfaattifosforin osuus oli pohjoisessa 40 % ja etelässä 60 %.

Ahl (1972) totesi, että tärkeimmät ravinteiden kulkeutumista säätelevät tekijät ovat kaupungisaste, asukastiheys, jätevesien puhdistustapa, viljellyn maan osuus valuma-alueesta ja epäorgaanisten lannoitteiden käyttö. On mielenkiintoista todeta, että suurimmat yksittäisten vesistöalueiden fosforivalumat neliökilometriä kohti saadaan Suomessa etelärannikon tiheästi asutulta alueelta (esim. Porvoonjoki ja Vantaanjoki). Sen sijaan keskimääräinen fosforivaluma on suurin Saaristomereen ja Selkämereen, joihin purkautuvat Lounais-Suomen vedet. Eri tekijöiden vaikutusten erottelu saattaa osoittautua jatkuvasti vaikeaksi, koska teollisuus, asutus, maanviljely ja maaperän laatu eivät ole toisistaan riippumattomia. Inhimillinen toiminta on keskittynyt niille alueille, joilla maaperä on hedelmällisin ja huuhtoutumiselle luonnostaan altis.

4.4 ORGAANINEN AINE

Jokiveden mukana kulkeutuvan orgaanisen aineen määrää on lähestytty kaliumpermanganaatin kulutuksen, orgaanisen hiilen pitoisuuden ja biologisen hapenkulutuksen perusteella. Rekisteröityjen havaintojen keskiarvoista saadaan seuraavat arviot mereen purkautuviksi ainemääriksi:

	KMnO ₄ tO ₂ /v	Org. C t/v	BHK ₇ t/v
Suomenlahti	170 000	150 000	36 000
Saaristomeri ja Selkämeri	240 000	190 000	41 000
Perämeri	550 000	460 000	100 000

Valuma-alueiden suhteissa painottaen päätyy orgaanista ainetta mereen valuma-alueen neliökilometriä kohti keskimäärin seuraavasti:

KMnO ₄ -kulutus	4,2 tO ₂ /km ² _v
Org. C	3,4 t/km ² _v
BHK ₇	0,8 t/km ² _v

Nämä keskiarvot muodostuvat noin 200 000 km² laajuiselta valuma-alueelta, jolla tilanne on merialueittain seuraava:

	KMnO ₄ t ₀₂ /km ² _v	Org. C t/km ² _v	BHK ₇ t/km ² _v
Suomenlahti	3,6	3,1	0,8
Saaristomeri ja Selkämeri	5,9	4,6	1,0
Perämeri	3,9	3,2	0,7

Viro päätyi laskelmassaan orgaanisen aineksen huuhtoutumisesta koko maata koskevaan keskiarvoon 7,72 t/km²_v. Neljän suuren jokivesistön osalta tarkastelu paljastaa yhdensuuntaiset erot:

	Viro (1953) Orgaaninen aines t/km ² _v	1970...1972 KMnO ₄ t ₀₂ /km ² _v	Org. C t/km ² _v	BHK ₇ t/km ² _v
Kymijoki	7,02	3,6	3,1	0,8
Kokemäenjoki	10,33	6,2	4,6	1,0
Oulujoki	8,26	4,3	3,2	0,6
Kemijoki	5,98	2,2	2,2	..

Kaliumpermanganaatin kulutus on ilmaistu tässä hapeksi laskettuna, toisin kuin edellä vuoden 1970 keskiarvojen perusteella tehdyssä laskelmassa. Korjauskerroin on 0,253 (Vesianalyysitoimikunnan mietintö 1968). Kaliumpermanganaatin kulutuksen ja orgaanisen hiilen pitoisuuden välillä aineistossa vallitsee selvä yhteys. Biologinen hapenkulutus näyttää havaintopaikoittain kuvaavan eri tekijöiden vaikutusta kuin edellä mainitut muuttujat.

Liukoisen orgaanisen aineksen pitoisuudeksi voidaan arvioida noin puolet KMnO₄-kulutuksesta (vrt. Nilsson 1972), joten asetelman hapeksi laskettuja KMnO₄-kulutuksia vastaisi noin kaksinkertainen orgaanisen aineksen määrä. Aschanin (1906) tutkimissa suomalaisissa humusvesissä hiiltä oli tavallisimmin 40...50 % orgaanisesta aineksestä. Siten nyt saadut tulokset näyttävät pitävän varsin hyvin yhtä Viron laskelmien kanssa.

Ahl ja Odén (1971) saivat Ruotsista purkautuvan orgaanisen aineen määräksi 1969 noin seitsemän tonnia neliökilometriä kohti. Pohjois-Ruotsissa keskiarvo oli 6,6 t/km²_v ja Etelä-Ruotsissa 8,2 t/km²_v. Tuloksista on pääteltävä, että orgaanisen aineen kulkeutuminen mereen valuma-alueen pinta-alayksikköä kohti on melko saman suuruinen Ruotsissa ja Suomessa. Tämä on ymmärrettävää erityisesti siinä valossa, että suuri valtaosa on luonnollista humusaineina kulkeutuvaa materiaa. Suomessa voidaan vesien keskimääräiseksi humuspitoisuudeksi arvioida värin perusteella noin 13 mg/l, mikä merkitsee 1,25 miljoonan tonnin kulkeutumista vuosittain mereen (Ryhänen 1968). Tässä laskelmassa 200 000 km² alueelta saatu 700 000 tonnia orgaanista hiiltä vuodessa (liite 15) vastannee samaa suuruusluokkaa.

4.5 KIINTOAINE JA ELEKTROLYYTIT

Jokiveden kuljettamilla kiinteillä aineksilla ja elektrolyyteillä ei kenties ole suurta merkitystä Itämeren ainetaseissa. Sen sijaan valuma-alueen tapahtumien kuvaajina nämä muuttujat ovat mielenkiintoisia. Molemmat ovat usein yhteydessä virtaamaan, kiintoainepitoisuus suoraan verrannollisesti ja elektrolyyttipitoisuus kääntäen. Valuma-alueelta purkautuva elektrolyyttimäärä saattaa myös osoittautua käyttökelpoiseksi kulttuurin vaikutuksen indikaattoriksi. Kiinteisiin partikkeleihin taas joudutaan paneutumaan arvioitaessa eroosion vaikutuksia maaperän tai vesistössä todettavien fysikaalis-kemiallisten ja biologisten vaikutusten kannalta (vrt. esim. Niemelä 1973). Molemmat ongelmakentät ovat siksi mutkikkaita, ettei niihin ole tässä yhteydessä mahdollisuutta syventyä. Arviot jokisuulla todetuista ainemääristä rekisteröityjen 1970...1972 havaintojen perusteella on kuitenkin uskallettu esittää. Elektrolyyttien määrät on laskettu sähkönjohtokykyä koskevista havainnoista siten, että elektrolyyttipitoisuuden (mg/l) on otaksuttu olevan keskimäärin $0,65 \cdot \text{sähkönjohtokyky } (\mu\text{S/cm})$.

	Kiintoaine t/v	Elektrolyytit t/v
Suomenlahti	130 000	600 000
Saaristomeri ja Selkämeri	150 000	790 000
Perämeri	540 000	1 700 000

Vastaavat keskiarvot pinta-alayksikköä kohti ovat koko alueella $3,2 \text{ t/km}^2\text{v}$ kiinteitä aineksia ja $13 \text{ t/km}^2\text{v}$ elektrolyyttejä. Merialueittain tilanne on seuraava:

	Kiintoaine $\text{t/km}^2\text{v}$	Elektrolyytit $\text{t/km}^2\text{v}$
Suomenlahti	2,9	13
Saaristomeri ja Selkämeri	3,6	19
Perämeri	3,2	12

Kiinteiden aineiden määrä jokivesissä vaihtelee useimmilla paikoilla siten, että pitoisuudet ovat suurimmat kevättulvan aikana, jolloin huuhtoutuminen on tehokas. Määrittäminen ei erittele orgaanista ja epäorgaanista ainesta toisistaan. Kokemus on kuitenkin osoittanut, että pääosa esille tulevasta kiinteästä aineksesta on kuivapainon avulla mitattuna veden mukana kulkeutuvaa savesta tai muita verraten hienojakoisia mineraaliaineita. Kiintoainepitoisuuksiin pohjautuva arvio on käsillä olevista ilmeisesti epätarkin, ennen muuta voimakkaan pitoisuuksien vaihtelun vuoksi.

5. TIIVISTELMÄ

Työn tarkoituksena on ollut laatia karkea arvio jokivesien mukana Itämereen Suomen alueelta kulkeutuvien kasvinravinteiden ja orgaanisen aineksen määristä. Samalla on tarkasteltu jokivesien laadun ja virtaaman välistä riippuvuutta, silmälläpitäen vesihallinnon ATK-rekistereiden mahdollisuuksia entistä tarkempien ainevirtaamalaskelmien tuottamisessa.

Jokiveden kuljettamia ainemääriä on ensin lähestytty vesiviranomaisen neljästi vuodessa 1970 tekemien laatuhavaintojen ja vuotuisen keskivirtaaman tulona. Veden laadun ja virtaaman välistä korrelaatiota on alustavasti tarkasteltu kansainvälisen hydrologisen vuosikymmenen (IHD) puitteissa 1965...1971 kootun jokihavaintoaineiston perusteella.

Varsinainen ainevirtaamalaskelma perustuu 24 jokivesistön alajuoksulta 1970...1972 tehtyihin veden laatua ja virtaamia koskeviin havaintoihin, jotka on poimittu valituilla ehdoilla vesihallituksen vedenlaaturekisteristä ja virtaamarekisteristä elokuussa 1974. Laatumuuttujat ovat:

- kokonaistyyppi
- kokonaisfosfori
- KMnO_4 -kulutus
- orgaaninen hiili
- biologinen hapenkulutus
- kiintoaine
- sähkönjohtokyky

Veden laatua koskevat tiedot on painotettu päivittäisillä virtaamatiedoilla kolmella eri menetelmällä vesistöittäin:

1. Regressiomenetelmä

Ainevirtaaman ja virtaaman välinen riippuvuus on kuvattu pienimmän neliösumman paraabelina, josta on luettu vuoden kunkin päivän virtaamaa vastaava ainevirtaaman regressioarvo. Nämä on laskettu yhteen.

2. Vuosikeskiarvo

Kunkin vuoden aikaa purkautunut vesimäärä on painotettu vuoden kuluessa tehtyjen laatuhavaintojen aritmeettisella keskiarvolla.

3. Murtoviivamenetelmä

Kunkin laatuhavainnon on katsottu edustavan veden laatua näytteenottointervallin puolivälistä seuraavan intervallin puoliväliin. Painotukseen on käytetty näiden jaksojen aikana purkautuneita vesimääriä samaan tapaan kuin ns. jätevesitutkimuksissa on totuttu tekemään tavoiteltaessa tietoa epäsäännöllisesti purkautuvan veden kuljettamista ainemääristä.

Saaduista vuotuisista ainevirtaamista on edelleen laskettu kahden tai kolmen vuoden keskiarvot silloin, kun tietoja on ollut käytettävissä useammalta vuodelta samasta havaintopaikasta.

Tulokset osoittavat, että jokivesien laadun ja virtaamien välillä vallitsee tilastollisesti 5 % riskitasolla merkitsevä riippuvuus varsin usein. Tehdyissä regressioanalyyseissä korvattiin vedenlaaturekisterin tietueista satunnaisesti puuttuvat laatumuuttujien arvot yleisen tavan mukaisesti ko. havaintosarjan keskiarvolla, jolloin osa aineistossa piilevistä riippuvuuksista on saattanut jäädä tavoittamattakin. Tämä koskee lähinnä orgaanisen aineksen määrää kuvaavia laatutietoja, joissa jakson 1970...1972 ajalta on otettu laskelmiin vain tietyllä menetelmällä saadut tulokset (BHK₇, Org. C, KMnO₄ hapan Scan). Orgaanisen aineksen määrän kuvaamiseen jokivesistöjen ainetaseissa näyttää soveltuvan joko orgaanisen hiilen pitoisuus tai kaliumpermanganaatin kulutus. Niillä on keskenään kiinteä yhteys, joka selittyy luonnollisesti siten, että suuri valtaosa jokivesien kuljettamasta orgaanisesta aineksesta on humusaineita. Laskelmaan sisällytettyjen havaintopaikkojen alapuolelle jää melko pieni osa numeroitujen vesistöalueiden valuma-alueista, joten aineiston maantieteellinen peittävyys on hyvä. Lounais-Suomessa se on noin 74 % valuma-alueiden yhteenlasketusta pinta-alasta, Suomenlahden ja Perämeren rannikoilla lähes 90 %.

Rekisteristä poimitun aineiston painottaminen vesimäärillä antoi eri menetelmillä varsin yhtäpitäviä tuloksia. Veden laadun ja virtaaman välinen riippuvuus kuvattiin regressiomenetelmässä seuraavalla yhtälöllä:

$$C = \frac{a'}{Q} + b' + c'Q, \text{ jossa} \quad (9)$$

C = konsentraatio jokivedessä

Q = virtaama

a' , b' ja c' = veden kullekin laatuparametrille, havaintopaikalle ja aikasarjalle luonteenomaiset kertoimet.

Koska tämän muotoinen yhtälö on hankala ratkaista pienimmän neliösumman menetelmällä, käytettiin seuraavaa transformaatiota:

$$Y = a + bQ + cQ^2, \text{ jossa} \quad (10)$$

Y = konsentraation ja virtaaman tulo

Q = virtaama

Määritellyillä kertoimilla a, b ja c tämä paraabeli on identtinen edellisen kanssa. Ratkaistessa kertoimia pienimmän neliösumman menetelmän avulla jälkimmäinen muoto painottaa enemmän suuria virtaamia. Yhtälön hyväksikäyttö ainevirtaamalaskelmissa näyttää vaativan, että käytettävissä on riittävästi laatuhavaintoja kaikista virtaama-aineistossa esiintyvistä tilanteista.

Laskelman ulkopuolelle jäävät ns. pienet rannikko- ja välialueet sekä saaristo, joiden osuus koko alueesta on parin prosentin luokkaa. Tulokset ovat yhdensuuntaisia muiden tutkijoiden esittämien kanssa. Koko 200 000 km² alueelta saadaan seuraavat keskimääräiset ainevalunnat:

kokonaisfosfori	15 kg/km ² _v
kokonaistyyppi	200 kg/km ² _v
orgaaninen hiili	3,4 t/km ² _v
elektrolyytit	13 t/km ² _v

Yhteenvetoina esitetyt luvut eivät sellaisenaan valaise tavoitteen ulkopuolelle rajattua, mutta silti ratkaisua vaativaa kysymystä siitä, miten suuri panos ihmisellä on jokiveden kuljetamisissa ainemäärissä. Vaikuttaa siltä, että valuma-alueen maaperän laatu ja mereen purkautuvan veden määrä ovat yhä ratkaisevia. Kenties vesistökohtaisissa tarkasteluissa tullaan lähivuosina pääsemään lähemmäksi ainevirtaamissa ilmeneviä kausaalisuhteita.

SUMMARY

Amounts of substances discharged by rivers off the coast of Finland

During the last ten years there have been many discussions on the future of the Baltic Sea, and working groups and committees have been formed to calculate its water and material balances. The Finnish National Board of Waters has collected data on the water quality of the rivers regularly since 1962. Calculations concerning the amounts of substances discharged by rivers off the coast of Finland have been made on the basis of these water quality data combined with hydrological observations. The calculations presented in this summary are based on data for 1970-1972.

The study was performed at 25 stations, each of them representing one river basin. These form part of a network of stations, at which observations are made regularly on the water quality of altogether 57 river basins, drained to the Gulf of Finland and the Gulf of Bothnia. The total area of the basins is about 230 000 km². The number of river basins included in the present calculations and their total areas are presented in Table 6.

The basic material was extracted from the water quality register and the runoff register of the National Board of Waters in August 1974, using the metric map coordinates and the observation date. The intervals between the water quality observations varied, but sampling was performed at least four times a year. The runoff records were made daily. The first was to utilize the regression. The water quality parameters were weighted with the daily runoff values and the mean discharges. The parameters of water quality are presented in Table 5. In recent years the routine observations have comprised more than 20 water quality parameters.

Three different methods were used in calculating the annual discharge values. The first was to utilize the regression of water quality on the daily runoff data. The amounts of material discharged were interpolated for each day by means of a second degree equation, and the annual discharge was obtained by summing the daily amounts. The relation between water quality and runoff was as follows:

$$C = \frac{a'}{Q} + b' + c'Q, \text{ where} \quad (9)$$

C = concentration in river water

Q = runoff

a' , b' , c' , = coefficients typical of each quality parameter,
observation station and time series

This kind of equation is not very easy to solve with the least squares of the existing observation pairs. Therefore, it was transformed as follows:

$$Y = a + bQ + cQ^2, \text{ where} \quad (10)$$

Y = the product of concentration and runoff

Q = runoff

when the coefficients a, b and c are determined, this parabola is identical to equation (9). When solved with the least squares, equation (10) puts slightly more weight on the days the runoff of which is rather high.

The second method used to estimate the annual discharge was based on the annual means of concentration and runoff. With the third method the water quality was weighted in relation to the length of the intervals between the water quality observations. The concentration was weighted by the total runoff recorded during the period represented by each water quality observation.

The discharge values calculated by these three different methods were very similar. The amounts of the main nutrients discharged per unit area and year are summarized in Table 7. The values of organic carbon, suspended solids and dissolved electrolytes are presented in Table 8.

The mean annual discharge of total nitrogen was about 200 kg/km² and that of total phosphorus 15 kg/km². The mean annual discharges of organic carbon, suspended solids and dissolved electrolytes were 3.4, 3.2 and 13 t/km², respectively. The concentration of dissolved electrolytes (mg/l) is taken as the conductivity value (μS/cm) multiplied by the mean coefficient 0.65.

These estimates seem to be fairly plausible, being compatible with the results of other authors in the Baltic countries. The results do not reveal the role of human activities in the material balance of the Baltic. It is possible that this has been very small until now, because it seems to be clear that no significant changes have happened during the last ten years in the amounts of chemical substances discharged by Finnish rivers.

KIRJALLISUUTTA

- Ahl, T. & Odén, S. 1971. Preliminary report on the transport of presumptive pollutant to the Baltic Sea, 2. Soviet-Swedish Symposium on the Pollution of the Baltic. Stockholm. (Moniste.)
- Ahl, T. 1972. Plant nutrients in Swedish lake and river waters. Verh. Int. Ver. Limnol. 18.
- Aschan, O. 1906. Humusämnen i de nordiska inlandsvattnen och deras betydelse, särskildt vid sjömalternas daning. Helsinki.
- Brink, N. 1970. Transport och ackumulation av kväve och fosfor, ett mellansvenskt nederbördsområde. Nordisk Hydrologisk Konferens 1970. Oslo.
- Dahlin, H. 1973. A new computation of the volume of the Baltic and its different parts. Meddelande från Havsfiskelaboratoriet Lysekil 157. Göteborg.
- Eriksson, E. 1974. Vattnet, kemikaliebäraren. Forskning och Framsteg 5/1974.
- Haapala, K. 1972. Sadeveden laatu Suomessa vuonna 1971. Vesihallituksen tiedotus 26. Helsinki.
- Haapala, K. & Erkomaa, K. 1971. Vesihallituksessa käytettävistä analyysimenetelmistä. Vesihallituksen tiedotus A3. Helsinki.
- Heikinheimo, O. & Raatikainen, M. 1971. Paikan ilmoittaminen Suomesta talletetuissa biologisissa aineistoissa. Ann. Ent. Fenn. 37, 1a.
- Hydrological Data-Norden, IHD Stations. 1971a. Introductory Volume. Ed.:G. Goffeng. Ås.
- Hydrological Data-Norden, IHD Stations. 1971b. Basic Data 1965-1969. Ed.:G. Goffeng. Ås.
- Hydrological Data-Norden, IHD Stations. 1973. Basic Data 1970-1971. Ed.:G. Goffeng. Ås.
- Hydrologinen toimisto. Hydrologinen vuosikirja 1963, 1965, 1968, 1970. No 17, 18, 19, 20. Helsinki.
- Hydrologinen vuosikirja 1969-1970. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 3. Helsinki.
- Komiteanmietintö 1968:B19. Vesianalyysitoimikunnan mietintö. Helsinki.
- Laaksonen, R. 1970. Vesistöjen veden laatu. Maa- ja vesiteknillisiä tutkimuksia 17. Helsinki.
- Laaksonen, R. & Wartiovaara, J. 1973. Vesistöjen veden laadun muutoksista 1960-luvulla. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 6. Helsinki.
- Lahermo, P. 1970. Chemical geology of ground and surface waters in Finnish Lapland. Bull. Comm. géol. Finlande 242.
- Mustonen, S. 1965. Meteorologisten ja aluetekijöiden vaikutuksesta valuntaan. Maa- ja vesiteknillisiä tutkimuksia 12. Helsinki.
- Mustonen, S. 1971. Alivaluman vaihteluista pienillä alueilla. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 1. Helsinki.
- Mustonen, S. 1973. Suomen vesivarat. KOP:n kuukausikatsaus B15. Helsinki.

- Niemelä, S. 1973. Connection between the bacterial content of the Mahaweli River and of some adjacent soils. Verh. Int. Ver. Limnol. 18.
- Nilsson, B. 1972. Sedimenttransport i svenska vattendrag, ett IHD-projekt, 2. UNGI Rapport 16. Uppsala.
- Ranta-Pere, V. 1974. Vesistöjen hajakuormitusten arvioiminen. Ympäristö ja Terveys 5/1974.
- Ryhänen, R. 1968. Die Bedeutung der Humussubstanzen im Stoffhaushalt der Gewässer Finnlands. Mitt. Int. Ver. Limnol. 14.
- Salo, A. & Voipio, A. 1973. Transport of radionuclides in lake and river systems flowing through areas characterized by precambrian bedrock and peat-bogs. Radioactive Contamination of the Marine Environment. Vienna.
- Seuna, P. 1971. Suomen vesistöalueet. Vesihallituksen tiedotus 10. Helsinki.
- Simojoki, H. 1966. Suomen vesitaloudesta. Hydrologian toimiston tiedonantoja 14. Helsinki.
- Siren, A. 1955. Suomen vesistöalueet ja keskimääräiset valuma-arvot. Hydrologisen toimiston tiedonantoja 15. Helsinki.
- Särkkä, M. 1971. Kasvinravinteiden huuhtoutuminen maaperästä Suomessa. Kemian Teollisuus 5/1971.
- Thompson, L. 1973. Cyclical weather patterns in the middle latitudes. J. Soil and Water Conservation 28, 2.
- Vesiensuojelutoimiston tiedonantoja. 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969. No 2, 9, 17, 23, 31, 36, 46. Vesiensuojelutoimiston monistettuja julkaisuja. Helsinki.
- Vesihallitus 1972. Analyysituloksia valtakunnallisilta virtahavaintopaikoilta. Vesihallituksen tiedotus A1. Helsinki.
- Vesihallitus 1973. Analyysituloksia virtahavaintopaikoilta v. 1970. Vesihallituksen tiedotus 45. Helsinki.
- Viro, P. 1953. Loss of nutrients and the natural nutrient balance of the soil in Finland. Comm. Inst. Forest. Fenniae 42 (1955).
- Voipio, A. 1973. On the estimation of material budget in the Baltic Sea. Vannet i Norden 2/1973.
- Voipio, A. & Salo, A. 1971. On the balances of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs in the Baltic Sea. Nordic Hydrology 2/1971.

LIITELUETTELO

- Liite 1. Suomessa Itämereen laskevien vesistöjen alajuoksulla sijaitsevia veden laadun havaintopaikkoja
- Liite 2. Virtaamien mittauspaikat
- Liite 3. IHD-jokitutkimuksen havaintopaikat
- Liite 4. Veden kiintoainepitoisuus, sähkönjohtokyky, typpipitoisuus ja fosforipitoisuus eräiden jokivesistöjen alajuoksulla 1970
- Liite 5. Veden KMnO_4 -kulutus, orgaanisen hiilen pitoisuus ja biologinen hapenkulutus eräiden jokivesistöjen alajuoksulla 1970
- Liite 6. Keskivirtaamia vuonna 1970
- Liite 7. Ainevalumia 1970, pääravinteet
- Liite 8. Ainevalumia 1970, orgaaninen aine
- Liite 9. Ainevalumia 1970, kiintoaine ja elektrolyytit
- Liite 10. Virtaaman ja veden laadun välinen korrelaatio 1970...1972
- Liite 11. Ainevirtaamalaskelmien regressiotiedot
- Liite 12. Suomenlahteen purkautuvia ainemääriä 1970...1972
- Liite 13. Saaristomereen ja Selkämereen - " -
- Liite 14. Perämereen - " -
- Liite 15. Kuormituksen jakautuminen merialueille eri arviointimenetelmin

Liite 1. Suomessa Itämereen laskevien vesistöjen alajuoksulla sijaitsevia veden laadun havaintopaikkoja

Appendix 1. Observation stations discharging to the Baltic Sea.

Ves. alue <i>River basin</i>	Hav. paikka <i>Obs. sta- tion</i>	Koordinaatit 1) <i>Coordinates</i>					Vesistö <i>River</i>	Kunta <i>Municipality</i>
No <i>Nr</i>	No <i>Nr</i>	Vyö- hyke <i>Zone</i>	P	I				
11	3 020	3 - 671	980 - 53	867		Virojoki	Virolahti	
14	5 600	3 - 672	945 - 48	745		Kymijoki	Kymi	
16	6 030	3 - 671	076 - 44	208		Koskenkylänjoki	Pernaja	
18	6 021	3 - 670	593 - 42	378		Porvoonjoki	Porvoon mlk	
21	6 040	2 - 668	130 - 55	434		Vantaanjoki	Helsinki	
23	5 900	2 - 667	093 - 49	092		Karjaanjoki	Karjaa	
24	6 111	2 - 666	935 - 45	318		Kiskonjoki	Perniö	
25	6 101	2 - 669	812 - 45	230		Uskelanjoki	Salo	
27	6 301	2 - 670	640 - 42	738		Paimionjoki	Paimio	
28	6 401	1 - 670	763 - 57	483		Aurajoki	Kaarina	
34	6 900	1 - 678	830 - 53	922		Eurajoki	Eurajoki	
35	8 810	1 - 682	125 - 54	216		Kokemäenjoki	Pori	
37	9 100	1 - 690	537 - 52	669		Lapväärtinjoki	Kristiinankaupunki	
42	9 600	1 - 699	916 - 54	476		Kyrönjoki	Mustasaari	
44	9 900	2 - 704	860 - 42	715		Lapuanjoki	Uusikaarlepyy	
49	10 600	2 - 708	400 - 46	180		Perhonjoki	Kaarlela	
53	11 000	2 - 712	985 - 49	665		Kalajoki	Kalajoki	
54	11 400	2 - 715	152 - 51	301		Pyhäjoki	Pyhäjoki	
57	11 600	2 - 718	036 - 54	595		Siikajoki	Revonlahti	
59	13 000	2 - 721	490 - 56	940		Oulujoki	Oulu	
60	13 010	2 - 723	230 - 56	370		Kiiminginjoki	Haukipudas	
61	13 300	2 - 724	812 - 56	738		Iijoki	Ii	
64	13 500	2 - 728	569 - 54	966		Simojoki	Simo	
65	14 000	2 - 729	994 - 52	512		Kemijoki	Kemin mlk	
67	14 300	2 - 730	369 - 50	712		Tornionjoki	Tornio	

1) Vedenlaaturekisterin yhtenäiskoordinaatit (vrt. Heikinheimo ja Raatikainen 1971)

General coordinates in the register of water qualities

Liite 2. Virtaamien mittauspaikat.

Appendix 2. Discharge observation stations.

Vesistöalue <i>River basin</i>		Asteikko ¹⁾ <i>Column</i>
Nimi <i>Name</i>	N:o <i>Nr</i>	N:o <i>Nr</i>
Virojoki	11	00500
Kymijoki	14	09550
Koskenkylänjoki	16	00110
Porvoonjoki	18	00500
Vantaanjoki	21	01700
Karjaanjoki	23	00935
Kiskonjoki-Perniönjoki	24	00400
Uskelanjoki	25	00400
Paimionjoki	27	00250
Aurajoki	28	00300
Eurajoki	34	00500
Kokemäenjoki	35	10450
Lapväärtinjoki.	37	00400
Kyrönjoki	42	01000
Lapuanjoki	44	
Perhonjoki	49	00400
Kalajoki	53	00800
Pyhäjoki	54	00300
Siikajoki	57	00700
Oulujoki	59	04450
Kiiminginjoki	60	00400
Iijoki	61	01950
Simojoki	64	00410
Kemijoki	65	04450
Tornionjoki	67	02201

1) Asteikon numero yhdessä vesistöalueen numeron kanssa viittaa virtaamarekisterissä käytettyyn koodiin.

Liite 3. IHD-jokitutkimuksen havaintopaikat ¹⁾
Appendix 3. IHD-river stations

No <i>Nr</i>	Vesistöalue <i>River basin</i>	Havaintopaikka <i>Observation station</i>	Koordi- naatit <i>Coordinates</i>	Kor- keus <i>Level</i>	Valuma- alue <i>Discharge area</i>	Järvi- syys <i>Lakes</i>	Laatuhavain- not vuosilta ²⁾ <i>Quality observa- tions in years</i>
				m	km ²	%	
801	Kyrönjoki	Lansorsund	63°06 21°52	3	4 805	1,0	1965...69
802	Aurajoki	Hypöistenkoski	60°39 25°31	38	345	0	1967...69
803	Aurajoki	Halinen	60°29 22°18	6	727	0,2	
804	Kokemäenjoki, Pihlajavesi	Kituskoski	62°17 24°03	116	565	9,2	1966...69
805	Siikajoki	Länkelä	64°46 24°52	19	4 415	1,4	1965...69
806	Kemijoki	Taivalkoski	65°57 24°42	17	50 800	3,5	1968...69
807	Kokemäenjoki, Pääjärvi	Koski Hl.	61°02 25°09	103	235	7,9	1969
808	Iijoki	Merikoski	65°19 25°26	7	14 135	5,8	1965...69
809	Kuivajoki	Luujoen alap.	65°37 25°23	26	1 270	2,9	1965...69
810	Kymijoki	Pernoo	60°35 26°47	19	36 535	19	1965...69
811	Koskenkylänjoki	Pyhäjärvi l.	60°42 26°01	40	453	6,1	1966...69
812	Kymijoki, Sysmän reitti	Tainionvirta	61°34 26°01	92	1 425	26	1966...69
813	Kymijoki, Koivujoki	Korkeakoski	63°23 26°25	130	196	14	1966...69
814	Paatsjoki, Ivalojoen	Pajakoski	68°35 27°20	126	3 300	0,3	1966...69
815	Tenojoki	Onnelansuvanto	69°55 27°01	64	11 165	2,4	1965...69
816	Tenojoki, Utsjoki	Patoniva	69°45 27°00	75	1 471	23	1966...69
817	Vuoksi	Imatra	61°12 28°46	76	61 275	20	1965...69
818	Vuoksi, Saramonjoki	Roukkajankoski	63°26 29°06	98	880	4,4	1966...69
819	Koutajoki, Oulankajoki	Kiutaköngäs	66°22 29°16	160	1 950	4,7	1966...69

1) Hydrological Data - Norden, Introductory Volume, 1971

2) Hydrological Data - Norden, Basic Data 1965 - 1969, 1971

Liite 4. Veden kiintoainepitoisuus, sähkönjohtokyky, typpipitoisuus ja fosforipitoisuus eräiden jokivesistöjen alajuoksulla 1970.

Appendix 4. Suspended solids, conductivity, nitrogen and phosphorus concentrations in the outlet of some rivers 1970.

Vesistö- alue River basin	Kiintoaine Susp. solids mg/l		κ_{20} $\mu\text{S/cm}$		Tot. N mg/l		Tot. P mg/l	
No Nr	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
11	12	6	62	18	0,9	0,4	0,04	0,01
14	10	8	66	9	0,6	0,2	0,04	0,01
16	24	19	104	14	1,1	0,2	0,08	0,01
18	34	21	138	45	2,2	0,6	0,26	0,12
21	50	28	180	61	2,6	1,1	0,25	0,10
23	7	3	99	5	1,0	0,2	0,04	0,01
24	10	7	86	16	0,8	0,4	0,04	0,01
25	60	21	143	40	1,5	0,2	0,14	0,05
27	78	27	124	34	2,9	1,9	0,15	0,05
28	45	14	150	53	2,2	1,2	0,14	0,05
34	22	22	160	18	1,2	0,3	0,08	0,03
35	17	17	126	20	1,2	0,1	0,15	0,04
37	22	31	90	22	0,8	0,6	0,07	0,03
42	16	8	164	37	1,5	0,5	0,10	0,05
44	17	14	130	33	1,3	0,2	0,07	0,04
49	16	10	58	18	1,2	0,5	0,05	0,01
53	25	18	91	40	1,2	0,4	0,08	0,03
54	20	27	95	45	0,8	0,5	0,06	0,03
57	34	37	60	22	0,9	0,2	0,11	0,03
59	12	15	42	8	1,0	0,2	0,08	0,05
60	6	6	35	4	0,5	0,1	0,03	0,01
61	6	4	29	7	0,5	0,2	0,02	0,02
64	4	4	32	11	0,4	0,1	0,01	0,01
65	4	5	42	12	0,4	0,1	0,02	0,01
67	5	6	38	11	0,3	0,1	0,02	0,02

Liite 5. Veden KMnO_4 -kulutus, orgaanisen hiilen pitoisuus ja biologinen hapenkulutus eräiden jokivesistöjen alajuoksulla 1970.

Appendix 5. KMnO_4 -consumption, organic carbon and biological oxygen demand in the outlet of some rivers 1970.

Vesistö- alue River basin	KMnO_4 - kulutus KMnO_4 -consumption		Org. C		BHK_7 BOD_7	
No Nr	mg/l		mg/l		mg/l	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
11	64	26	13,0	4,4	1,7	0,4
14	67	13	13,6	1,3	4,0	1,1
16	30	3	8,0	0,8	1,2	0,7
18	38	8	9,2	1,5	2,2	0,5
21	46	10	12,2	0,9	3,4	1,1
23	31	3	8,9	1,9	1,9	0,3
24	32	3	8,5	1,3	1,6	0,1
25	43	18	10,6	3,5	2,5	1,3
27	54	23	14,5	3,9	2,0	0,8
28	68	7	16,1	1,3	2,6	0,9
34	38	6	11,2	1,9	2,9	1,0
35	104	35	20,9	4,4	5,2	4,1
37	82	54	14,9	7,0	2,0	0,7
42	79	14	18,4	3,1	2,1	0,7
44	76	17	17,7	2,3	2,0	0,7
49	80	9	16,1	1,7	1,8	0,6
53	93	16	21,4	4,4	2,5	1,0
54	70	33	16,5	6,8	2,2	0,8
57	77	19	18,4	3,2	3,2	1,6
59	50	5	11,5	1,7	1,7	0,6
60	60	29	12,5	2,8	1,8	1,0
61	57	19	8,6	4,0	1,7	0,4
64	45	21	10,9	5,5	2,0	0,4
65	38	8	8,1	2,3	1,9	0,5
67	26	15	7,2	3,7	1,6	0,8

Liite 6. Keskivirtaamia vuonna 1970

Appendix 6. Mean runoff 1970

	F Total km ²	F Q km ²	MQ ⁷⁰ m ³ /s	Mq ⁷⁰ l/s km ²
Suomenlahti				
<i>Gulf of Finland</i>				
11 Virojoki	360	345	3,4 ⁽¹⁹⁶⁹⁾	9,9 ⁽¹⁹⁶⁹⁾
14 Kymijoki	37 235	36 050	270	7,5
16 Koskenkylänjoki	887	455	4,3	9,5
18 Porvoonjoki	1 266	1 135	10,9	9,6
21 Vantaanjoki	1 685	1 680	18,4	11,0
23 Karjaanjoki	2 050	1 925	17,3	9,0
Saaristomeri ja Selkämeri				
<i>Archipelago Sea and Bothnian Sea</i>				
24 Kiskonjoki-Perniönj.	1 033	600	6,0	10,0
25 Uskelanjoki	593	520	(4,9)	
27 Paimionjoki	1 092	790	8,3	10,5
28 Aurajoki	860	385	3,5	7,3
34 Eurajoki	1 327	1 330	7,8	5,9
35 Kokemäenjoki	27 040	26 025	192	7,4
37 Lapväärtinjoki	1 112	1 035	10,6	10,2
Perämeri				
<i>Bothnian Bay</i>				
42 Kyrönjoki	4 920	4 805	31	6,4
44 Lapuanjoki	4 148	3 955	21	5,3
49 Perhonjoki	2 515	2 385	10,4	4,4
53 Kalajoki	4 308	3 025	19,1	6,3
54 Pyhäjoki	3 669	3 250	22	6,8
57 Siikajoki	4 334	4 395	38	8,7
59 Oulujoki	22 572	22 900	222	9,7
60 Kiiminginjoki	3 660	3 845	36	9,3
61 Iijoki	14 319	14 315	162	11,3
64 Simojoki	3 121	3 125	32	10,2
65 Kemijoki	50 910	50 900	462	9,1
67 Tornionjoki	39 820	(29 450	274	..
		... 39 360)		

Liite 7. Ainevalumia 1970, pääravinteet

Appendix 7. Material transports 1970, main nutrients

		Tot. N		Tot. P	
		t/v	kg/v km ²	t/v	kg/v km ²
Suomenlahti					
<i>Gulf of Finland</i>					
11	Virojoki	97	280	4,3	12
14	Kymijoki	5 100	140	340	9
16	Koskenkylänjoki	150	330	11	24
18	Porvoonjoki	760	670	89	79
21	Vantaanjoki	1 500	900	150	86
23	Karjaanjoki	550	280	22	11
Saaristomeri ja Selkämeri					
<i>Archipelago Sea and Bothnian Sea</i>					
24	Kiskonjoki-Perniönj.	150	250	7,6	13
25	Uskelanjoki	230	450	22	42
27	Paimionjoki	760	960	39	50
28	Aurajoki	240	630	15	40
34	Eurajoki	300	220	20	15
35	Kokemäenjoki	7 300	280	910	35
37	Lapväärtinjoki	270	260	23	23
Perämeri					
<i>Bothnian Bay</i>					
42	Kyrönjoki	1 500	300	98	20
44	Lapuanjoki	860	220	46	12
49	Perhonjoki	390	160	16	7
53	Kalajoki	720	240	48	16
54	Pyhäjoki	560	170	42	13
57	Siikajoki	1 100	240	130	30
59	Oulujoki	7 000	310	560	24
60	Kiiminginjoki	570	150	34	9
61	Iijoki	2 600	180	100	7
64	Simojoki	400	130	10	3
65	Kemijoki	5 800	110	290	6
67	Tornionjoki	2 600	..	170	..

Liite 8. Ainevalumia 1970, orgaaninen aine

Appendix 8. Material transports 1970, organic matter

		KMnO ₄		Org. C		BHK ₇ BOD ₇	
		t/v	t/km ² _v	t/v	t/km ² _v	t/v	t/km ² _v
Suomenlahti							
<i>Gulf of Finland</i>							
11	Virojoki	6 900	20	1 400	4,0	180	0,53
14	Kymijoki	570 000	16	120 000	3,2	34 000	0,94
16	Koskenkylänjoki	4 100	9	1 100	2,4	160	0,36
18	Porvoonjoki	13 000	12	3 200	2,8	760	0,67
21	Vantaanjoki	27 000	16	7 100	4,2	2 000	1,20
23	Karjaanjoki	17 000	9	4 900	2,5	1 000	0,54
Saaristomeri ja Selkämeri							
<i>Archipelago Sea and Bothnian Sea</i>							
24	Kiskonjoki-Perniönj.	6 100	10	1 600	2,7	300	0,50
25	Uskelanjoki	6 600	13	1 600	3,2	390	0,74
27	Paimionjoki	14 000	18	3 800	4,8	520	0,66
28	Aurajoki	7 500	19	1 800	4,6	290	0,74
34	Eurajoki	9 300	7	2 800	2,1	710	0,54
35	Kokemäenjoki	630 000	24	130 000	4,9	31 000	1,20
37	Lapväärtinjoki	27 000	26	5 000	4,8	670	0,65
Perämeri							
<i>Bothnian Bay</i>							
42	Kyrönjoki	77 000	16	18 000	3,7	2 100	0,43
44	Lapuanjoki	50 000	13	12 000	3,0	1 300	0,34
49	Perhonjoki	26 000	11	5 300	2,2	590	0,25
53	Kalajoki	56 000	19	13 000	4,3	1 500	0,50
54	Pyhäjoki	49 000	15	11 000	3,5	1 500	0,47
57	Siikajoki	92 000	21	22 000	5,0	3 800	0,87
59	Oulujoki	350 000	15	81 000	3,5	12 000	0,52
60	Kiiminginjoki	68 000	18	14 000	3,7	2 000	0,53
61	Iijoki	290 000	20	44 000	3,1	8 700	0,61
64	Simojoki	45 000	15	11 000	3,5	2 000	0,65
65	Kemijoki	550 000	11	120 000	2,3	28 000	0,54
67	Tornionjoki	220 000	..	62 000	..	14 000	..

Liite 9. Ainevalumia 1970, kiintoaine ja elektrolyytit

Appendix 9. Material transports 1970, suspended solids and electrolytes

	Kiintoaine		Elektrolyytit	
	<i>Suspended solids</i>		<i>Electrolytes</i>	
	t/v	t/km ² v	t/v	t/km ² v
Suomenlahti				
<i>Gulf of Finland</i>				
11 Virojoki	1 300	3,7	4 300	12
14 Kymijoki	85 000	2,7	360 000	10
16 Koskenkylänjoki	3 300	7,2	9 000	20
18 Porvoonjoki	12 000	10,3	31 000	27
21 Vantaanjoki	29 000	17,3	65 000	40
23 Karjaanjoki	3 800	2,0	35 000	18
Saaristomeri ja Selkämeri				
<i>Archipelago Sea and Bothnian Sea</i>				
24 Kiskonjoki-Perniönjoki	1 900	3,1	10 000	18
25 Uskelanjoki	9 300	17,8	14 000	27
27 Paimionjoki	20 000	25,8	21 000	27
28 Aurajoki	5 000	12,9	11 000	28
34 Eurajoki	5 400	4,1	25 000	20
35 Kokemäenjoki	100 000	4,0	490 000	19
37 Lapväärtinjoki	7 400	7,1	20 000	19
Perämeri				
<i>Bothnian Bay</i>				
42 Kyrönjoki	16 000	3,3	100 000	21
44 Lapuanjoki	11 000	2,8	56 000	14
49 Perhonjoki	5 200	2,2	12 000	5
53 Kalajoki	15 000	5,0	36 000	12
54 Pyhäjoki	14 000	4,3	43 000	13
57 Siikajoki	41 000	9,3	47 000	10
59 Oulujoki	84 000	3,7	190 000	8
60 Kiiminginjoki	6 800	1,8	26 000	6
61 Iijoki	31 000	2,1	100 000	6
64 Simojoki	4 000	1,3	21 000	6
65 Kemijoki	58 000	1,1	400 000	8
67 Tornionjoki	43 000	..	210 000	..

Liite 10. Virtaaman ja veden laadun välinen korrelaatio 1970...1972.

(n=havaintojen lukumäärä)

Appendix 10. Correlation between runoff and water quality 1970...1972.

(n=number of observations)

Vesistö- alue <i>River basin</i>	n	Korrelaatiokertoimet <i>Correlation coefficients</i>						
		Tot. N	Tot. P	KMnO ₄	Org. C	BHK ₇ BOD ₇	Kiintoaine Susp. solids	Elektrolyytit Electrolytes
Suomenlahti <i>Gulf of Finland</i>								
11	9	0,10	0,29	0,06	-0,11	-0,02	0,37	-0,40
14	34	0,19	-0,15	-0,36*	-0,03	-0,34*	0,45**	-0,58***
16	14	0,19	-0,34	0,12	0,01	-0,15	0,13	-0,74**
18	16	0,26	-0,47	0,39	0,19	0,18	0,93***	-0,58*
21	14	-0,22	-0,02	0,07	0,16	-0,24	0,10	-0,17
23	14	0,42	-0,16	0,12	-0,15	0,14	0,15	0,00
Saaristomeri ja <i>Archipelago Sea and</i> Selkämeri <i>Bothnian Sea</i>								
24	18	0,75***	0,08	0,41	-0,01	0,02	0,15	-0,38
25	13	0,78**	0,93***	0,57	0,05	0,70**	0,99***	-0,57*
27	18	0,30	0,16	0,09	-0,04	0,02	0,59**	-0,29
28	12	-0,07	-0,23	0,08	-0,09	0,18	0,30	-0,57
34	14	0,48	0,17	-0,10	-0,08	-0,10	0,96***	-0,05
35	17	0,23	-0,66**	-0,24	-0,33	-0,16	0,79***	-0,32
37	54	0,39**	0,57***	-0,05	-0,00	0,03	0,67***	-0,38**
Perämeri <i>Bothnian Bay</i>								
42	2011)	-0,06	-0,10	0,40**	0,03	0,34	0,86***	-0,44**
49	10	-0,20	-0,41	-0,56	..	0,28	0,54	-0,17
53	28	0,04	0,01	0,08	0,03	0,03	0,40*	-0,41*
54	9	0,58	0,88**	0,67*	..	0,39	0,97***	-0,83**
57	24	0,14	0,21	0,44*	0,02	0,34	0,94***	-0,25
59	11	-0,17	0,36	0,61*	0,14	0,13	0,58	0,03
60	14	-0,12	0,70**	0,60*	0,18	0,25	0,09	-0,64*
61	7	-0,54	0,90**	0,82*	0,16	0,85*	0,98***	-0,38
64	4	-0,58	0,98*	0,95*	..	0,96*	0,99**	-0,82
65	24	0,32	0,65***	0,50*	0,31	..	0,76***	-0,53**
67	3	-0,33	0,96	0,20	..	0,53	-0,51	-0,76

1) Korrelaatiot vuodelta 1970, havaintoja 43

Correlations for the year 1970, 43 observations

*P = 0,05

**P = 0,01

***P = 0,001

Liite 11. Ainevirtaamalaskelmien regressiotiedot

Appendix 11. Regressions used in calculations of material transport

Muuttujien dimensiot

Dimensions of variables

Kokonaisfosfori	Total phosphorus	mg/l
Kokonaistyyppi	Total nitrogen	mg/l
Kiintoaine	Suspended solids	mg/l
Sähkönjohtokyky	Conductivity	μS/cm
Biologinen hapenkulutus	Biological oxygen demand	mg/l
KMnO ₄ -kulutus	KMnO ₄ -consumption	mg O ₂ /l
Orgaaninen hiili	Organic carbon	mg/l

Regressioyhtälö

Regression equation

$$Y = a + bQ + cQ^2$$

$$Y = \text{ainevirtaama} \quad \text{material transport} \quad 0,1 \text{ g/s}$$

$$Q = \text{virtaama} \quad \text{runoff} \quad 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

no	a	b	t _b	c	t _c	R ²
Kokonaisfosfori Total phosphorus						
11	-0,28	0,059	4,73	-0,000095	-1,20	0,979
14	199,33	-0,096	-1,25	0,000020	1,62	0,375
16	0,42	0,054	4,87	0,000015	0,35	0,967
18	1,81	0,174	2,48	-0,000009	-0,12	0,799
21	-1,90	0,424	18,20	-0,000661	-12,15	0,984
23	4,24	-0,013	-0,88	0,000084	3,30	0,899
24	-0,23	0,044	5,65	-0,000004	-0,12	0,965
25	-0,10	0,125	5,57	0,000746	15,38	1,000
27	-1,09	0,203	8,89	-0,000169	-2,21	0,981
28	-0,14	0,185	5,05	-0,002219	-2,83	0,881
34	0,20	0,054	2,42	0,000117	1,14	0,939
35	55,35	0,110	2,59	-0,000007	-0,92	0,839
37	-5,78	0,108	3,07	0,000023	1,22	0,737
42	11,05	0,017	0,72	0,000040	4,11	0,910
49	1,30	0,035	2,01	0,000022	0,77	0,959
53	-5,16	0,156	4,40	-0,000047	-2,16	0,686
54	13,62	-0,046	-3,01	0,000049	9,75	0,994
57	8,79	0,059	1,57	0,000017	1,88	0,910
59	-60,66	0,057	0,22	0,000004	0,11	0,313
60	-0,22	0,030	18,43	0,000006	18,21	1,000
61	-21,04	0,036	5,00	0,000002	3,80	0,999
64	1,57	-0,002	-0,19	0,000023	5,11	1,000
65	78,94	-0,026	-0,50	0,000006	2,29	0,727

no	a	b	t_b	c	t_c	R^2
Kokonaistyyppi <i>Total nitrogen</i>						
11	-4,03	1,146	4,52	-0,001742	-1,09	0,978
14	1102,62	-0,432	-0,21	0,000192	0,58	0,358
16	-6,82	1,833	6,15	-0,002037	-1,76	0,956
18	-205,76	5,300	3,38	-0,002675	-1,56	0,732
21	0,44	3,532	8,36	-0,003910	-3,96	0,962
23	12,17	0,612	2,05	0,001058	2,11	0,962
24	-9,10	0,951	6,17	0,001972	2,71	0,986
25	-3,32	1,821	7,67	0,003080	5,98	1,000
27	-53,53	5,130	6,58	-0,009096	-3,48	0,926
28	-5,89	3,803	4,02	-0,058287	-2,87	0,740
34	-0,12	1,145	7,14	0,001575	2,29	0,991
35	366,40	0,678	2,13	0,000116	1,96	0,968
37	-116,80	2,075	9,04	-0,000335	-2,78	0,869
42	-16,93	1,684	5,84	-0,000047	-0,41	0,928
49	37,77	0,412	1,25	0,000788	1,40	0,955
53	-9,96	1,289	8,40	-0,000106	-1,13	0,950
54	54,06	0,414	5,42	0,000182	7,30	0,998
57	36,09	0,546	3,11	0,000087	2,07	0,958
59	1307,70	-0,236	-0,15	0,000134	0,55	0,402
60	-0,05	0,578	10,59	-0,000015	-1,43	0,992
61	36,24	0,469	3,04	-0,000032	-2,60	0,804
64	-31,25	0,546	8,03	-0,000152	-4,75	0,999
65	81,61	0,246	3,03	0,000013	2,97	0,970

Kiintoaine <i>Suspended solids</i>						
11	-160,28	21,391	3,46	-0,051397	-1,29	0,946
14	-24359,36	16,365	0,45	0,000159	0,03	0,472
16	291,87	7,217	0,80	0,083637	2,39	0,914
18	-864,56	30,576	1,12	0,101298	3,42	0,935
21	696,37	18,812	1,06	0,101461	2,45	0,933
23	359,56	0,855	0,24	0,010057	1,68	0,844
24	-188,93	20,171	1,03	-0,016446	-0,18	0,397
25	-39,78	36,250	8,96	0,786308	89,53	1,000
27	-177,96	56,430	7,38	0,097128	3,79	0,993
28	-77,49	57,913	6,22	-0,198129	-0,99	0,970
34	96,56	-1,460	-0,47	0,266540	18,75	0,998
35	30850,41	-32,589	-1,53	0,013246	3,34	0,862
37	-3422,56	36,949	0,92	0,037600	1,78	0,524
42	13232,31	-84,244	-4,29	0,087551	11,11	0,956
49	1785,99	-16,817	-0,73	0,078840	2,02	0,841
53	-957,18	31,775	2,48	0,006167	0,78	0,787
54	2371,47	-6,074	-1,40	0,021037	14,84	0,998
57	6492,38	-11,170	-2,49	0,026126	24,24	0,998
59	104301,54	-89,290	-1,50	0,019818	2,11	0,662
60	-384,82	12,932	5,31	-0,000560	-1,18	0,964
61	4754,62	-4,999	-5,15	0,003393	44,02	1,000
64	-200,56	1,551	3,12	0,008187	34,83	1,000
65	39328,20	-23,775	-0,88	0,003418	2,33	0,668

no	a	b	t _b	c	t _c	R ²
Sähköjohtokyky <i>Conductivity</i>						
11	511,38	37,270	1,16	0,142463	0,69	0,924
14	38496,22	59,208	1,16	-0,001893	-0,23	0,776
16	387,05	88,274	13,69	0,013485	0,54	0,995
18	-265,11	127,701	6,81	-0,046856	-2,29	0,940
21	-763,26	263,314	20,97	-0,359522	-12,25	0,991
23	117,49	107,275	6,95	0,004515	0,17	0,987
24	674,27	59,547	7,83	0,079511	2,21	0,989
25	325,38	117,677	16,77	-0,054225	-3,56	1,000
27	-355,42	165,398	8,17	-0,221174	-3,26	0,967
28	-163,42	232,247	8,92	-3,284074	-5,88	0,944
34	1371,41	106,753	3,06	0,406037	2,55	0,974
35	-7059,22	143,922	4,25	-0,006435	-1,02	0,950
37	1207,02	66,631	7,78	-0,010688	-2,38	0,832
42	-6231,43	229,716	20,70	-0,045307	-10,18	0,982
49	1890,08	38,372	1,26	0,021427	0,41	0,895
53	1946,36	72,591	6,94	-0,013464	-2,09	0,899
54	15340,26	28,009	1,37	0,000519	0,08	0,882
57	-14341,19	97,667	6,38	-0,015197	-4,14	0,848
59	-69504,79	89,126	2,05	-0,008877	-1,29	0,735
60	1875,49	36,280	17,69	-0,003468	-8,66	0,993
61	41416,28	3,576	0,18	0,000847	0,53	0,842
64	-1802,10	49,687	2,94	-0,015652	-1,96	0,994
65	20484,94	44,676	3,46	-0,000513	-0,73	0,873
Biologinen hapenkulutus <i>Biological oxygen demand</i>						
11	0,28	1,389	4,19	0,000246	0,12	0,985
14	-5675,46	8,682	0,97	-0,001188	-0,83	0,100
16	5,67	1,371	4,31	0,001426	1,16	0,969
18	-21,20	2,851	5,15	-0,000743	-1,23	0,919
21	25,10	1,020	2,16	0,003101	2,80	0,965
23	-39,20	1,758	4,87	-0,000696	-1,14	0,954
24	-3,36	1,895	3,02	0,000066	0,02	0,892
25	-3,58	3,032	8,34	0,006391	8,10	1,000
27	3,35	2,038	4,91	0,000230	0,17	0,967
28	-5,36	3,393	4,90	-0,016912	-1,14	0,945
34	26,74	1,643	1,79	0,005866	1,41	0,925
35	5044,88	0,093	0,02	0,000530	0,53	0,349
37	-11,48	2,517	28,00	-0,000047	-0,99	0,991
42	50,80	2,497	1,69	0,000507	1,03	0,760
49	-43,32	2,143	3,75	-0,000856	-0,88	0,962
53	-4,69	1,793	26,53	-0,000030	-0,73	0,996
54	-242,43	3,170	8,57	0,000075	0,62	0,997
57	352,24	1,304	1,67	0,000586	3,12	0,951
59	-1418,24	2,900	0,93	-0,000153	-0,31	0,627
60	-0,75	2,608	6,52	0,000155	1,99	0,991
61	-1213,40	2,880	19,10	0,000028	2,31	1,000
64	104,13	0,508	0,93	0,001388	5,40	1,000
65	..	..	..	..	..	..

no	a	b	t _b	c	t _c	R ²
KMnO ₄ -kulutus <i>KMnO₄-consumption</i>						
11	-26,03	16,236	4,44	-0,012538	-0,53	0,982
14	-53214,40	54,409	2,44	-0,007342	-2,05	0,437
16	-0,98	9,213	14,05	-0,002870	-1,13	0,994
18	-119,06	14,450	7,01	-0,001864	-0,83	0,965
21	13,22	15,012	54,85	-0,000527	-0,82	1,000
23	-62,37	8,479	9,39	-0,001100	-0,72	0,991
24	-116,66	12,542	10,26	-0,017390	-3,01	0,980
25	-7,90	10,991	12,88	0,011170	6,03	1,000
27	-10,12	11,706	25,84	-0,002546	-1,68	0,999
28	1,12	14,061	6,52	-0,015920	-0,34	0,978
34	45,08	7,491	5,92	0,010494	1,82	0,986
35	10299,66	19,344	1,27	0,000214	0,08	0,765
37	365,43	20,815	12,93	-0,000032	-0,04	0,963
42	990,69	10,887	7,58	0,005298	9,20	0,992
49	-799,29	38,737	4,89	-0,036780	-2,72	0,942
53	-127,45	25,328	15,86	-0,000343	-0,35	0,988
54	-3596,94	40,759	12,94	-0,003685	-3,58	0,997
57	2094,28	18,010	2,63	0,002911	1,77	0,942
59	38036,53	-22,388	-1,43	0,006897	2,80	0,893
60	-11,21	15,773	15,73	0,001217	6,22	0,999
61	-8323,37	17,990	14,92	-0,000049	-0,51	1,000
64	3359,82	4,008	0,38	0,034328	6,85	1,000
65	-19259,45	39,253	10,42	0,000243	1,19	0,992
Orgaaninen hiili <i>Organic carbon</i>						
11	35,90	9,940	3,88	0,019677	1,20	0,989
14	6825,69	7,743	0,42	0,000637	0,22	0,617
16	-5,59	10,172	8,10	-0,001335	-0,27	0,985
18	-64,54	14,509	6,91	-0,002632	-1,15	0,960
21	-28,43	18,471	19,18	-0,005916	-2,63	0,997
23	206,85	7,560	4,82	0,003219	1,22	0,982
24	12,46	8,936	9,73	0,001318	0,30	0,989
25	-26,79	14,957	10,36	-0,007548	-2,41	0,999
27	3,24	12,428	30,74	0,000937	0,69	0,999
28	4,42	13,990	12,90	0,015927	0,68	0,995
34	46,86	8,804	5,76	0,009898	1,42	0,984
35	10421,47	11,979	1,44	0,000822	0,53	0,874
37	-2,24	18,007	184,04	-0,000003	-0,06	1,000
42	22,02	18,425	103,08	-0,000042	-0,59	1,000
49	-0,00	25,000	25,00	0,000000	0,00	1,000
53	9,41	20,509	143,51	-0,000010	-0,12	1,000
54	0,00	0,000	0,00	0,000000	0,00	0,000
57	11,20	20,052	59,29	-0,000015	-0,18	1,000
59	-5350,39	14,036	2,67	-0,000636	-0,75	0,940
60	-656,35	16,583	24,80	-0,000645	-4,94	0,998
61	-4486,79	14,728	23,50	-0,000407	-8,16	1,000
64	0,01	7,500	54,55	0,000000	0,00	1,000
65	-488,82	8,101	5,36	0,000112	1,38	0,976

Liite 12. Suomenlahteen purkautuvia ainemääriä 1970...1972

Appendix 12. Material transports discharging to the Gulf of Finland 1970...1972

Vesistö- alue <i>River basin</i>	Mene- telmä <i>Method</i>	Tot. N t/v	Tot. P t/v	KMnO ₄ - kulutus <i>KMnO₄- consumption</i> tO ₂ /v	Org. C t/v	BHK ₇ <i>BOD₇</i> t/v	Kiinto- aine <i>Susp. solids</i> t/v	Elektro- lyytit <i>Electrolytes</i> t/v
11	R	110	5,1	1 800	1 700	180	1 400	5 500
	V	110	4,8	1 800	1 600	180	1 400	5 600
	M	100	5,1	1 700	1 700	170	1 400	5 200
14	R	4 600	290	130 000	110 000	29 000	74 000	390 000
	V	4 600	290	130 000	110 000	29 000	71 000	390 000
	M	4 600	290	130 000	110 000	29 000	75 000	380 000
16	R	180	8,4	1 100	1 300	210	2 900	8 400
	V	160	9,4	1 100	1 200	220	2 800	9 100
	M	170	7,7	1 100	1 300	240	3 300	8 400
18	R	760	62	4 100	4 200	780	20 000	23 000
	V	850	80	3 900	4 000	700	15 000	27 000
	M	900	74	4 300	4 400	840	19 000	25 000
21 ²⁾	R	..	..	8 500	7 800	2 100	61 000	..
	V	1 500	140	8 600	9 100	1 500	29 000	72 000
	M	1 600	130	8 600	9 100	1 500	36 000	65 000
23	R	440	15	3 700	4 600	650	2 500	34 000
	V	430	16	3 700	4 600	620	2 700	34 000
	M	460	17	3 700	4 500	650	2 500	34 000

- (1) R = regressiomenetelmä *regression method*
V = vuosikeskiarvo *annual mean*
M = murtoviivamenetelmä *linear interpolation*

- 2) Laskelma käsittää vain vuoden 1970, regressioyhtälö on kuitenkin laskettu 1970...1972 havainnoista
Estimated for 1970 only, the regression equation calculated on the basis of observations 1970...1972

Liite 13. Saaristomereen ja Selkämereen purkautuvia ainemääriä 1970...1972.

Appendix 13. Material transports discharging to the Archipelago Sea and the Bothnian Sea 1970...1972

Vesistö- alue <i>River basin</i>	Mene- telmä <i>Method</i>	Tot. N t/v	Tot. P t/v	KMnO ₄ - kulutus <i>KMnO₄ consumption</i> tO ₂ /v	Org. C t/v	BHK ₇ <i>BOD₇</i> t/v	Kiinto- aine <i>Susp. solids</i> t/v	Elektro- lyytit <i>Electrolytes</i> t/v
24	R	160	6,2	1 300	1 500	300	2 400	8 400
	V	120	6,3	1 300	1 500	300	1 700	9 100
	M	140	6,9	1 400	1 400	290	2 200	9 100
25	R	240	28	1 300	1 300	430	19 000	7 800
	V	150	15	1 000	1 200	300	6 300	10 000
	M	180	19	1 100	1 100	320	10 000	9 100
27	R	..	23	2 000	2 400	400	17 000	
	V	400	26	2 000	2 400	400	10 000	16 000
	M	470	29	2 100	2 300	400	12 000	16 000
28	R	..	..	960	1 600	..	..	..
	V	180	12	1 200	1 300	220	3 900	9 100
	M	180	9,6	1 300	1 300	280	3 600	8 400
34	R	260	14	1 800	2 100	580	9 000	24 000
	V	210	12	1 700	2 000	540	2 800	21 000
	M	220	12	1 700	1 900	530	3 700	21 000
35	R	7 000	720	150 000	120 000	24 000	99 000	490 000
	V	6 800	780	160 000	120 000	27 000	75 000	490 000
	M	6 700	720	150 000	110 000	20 000	87 000	490 000
37	R	490	38	12 000	8 300	1 100	17 000	20 000
	V	520	37	9 800	8 200	1 100	14 000	21 000
	M	600	40	10 000	8 200	1 200	14 000	23 000

- (1) R = regressiomenetelmä *regression method*
V = vuosikeskiarvo *annual mean*
M = murtoviivamenetelmä *linear interpolation*

Liite 14. Perämereen purkautuvia ainemääriä 1970...1972.

Appendix 14. Material transports discharging to the Bothnian Bay 1970...1972

Vesistö- alue <i>River basin</i>	Mene- telmä <i>Method</i>	Tot. N	Tot. P	KMnO ₄ - kulutus <i>KMnO₄- consumption</i>	Org. C	BHK ₇ <i>BOD₇</i>	Kiinto- aine <i>Susp. solids</i>	Elektro- lyytit <i>Electrolytes</i>
		t/v	t/v	tO ₂ /v	t/v	t/v	t/v	t/v
42 ²⁾	R	2 100	180	32 000	26 000	3 700	54 000	130 000
	V	2 100	190	32 000	26 000	3 600	48 000	140 000
	M	2 200	180	33 000	27 000	3 700	54 000	130 000
49 ³⁾	R	490	27	12 000	14 000	870	11 000	20 000
	V	480	30	12 000	13 000	830	9 500	20 000
	M	490	31	12 000	14 000	800	12 000	21 000
53	R	1 100	86	23 000	19 000	1 600	33 000	40 000
	V	1 000	94	23 000	19 000	1 600	20 000	49 000
	M	1 000	95	25 000	20 000	1 700	22 000	47 000
54 ⁴⁾	R	610	39	18 000	..	1 700	16 000	46 000
	V	580	36	16 000	..	1 800	13 000	46 000
	M	620	42	19 000	..	2 000	19 000	39 000
57	R	1 300	180	62 000	37 000	5 000	62 000	65 000
	V	1 400	180	60 000	37 000	5 100	60 000	62 000
	M	1 300	180	73 000	37 000	5 300	73 000	57 000
59	R	5 400	350	100 000	77 000	14 000	90 000	180 000
	V	5 300	340	100 000	74 000	14 000	87 000	180 000
	M	5 200	330	99 000	76 000	13 000	72 000	180 000
60	R	730	49	23 000	18 000	3 700	15 000	31 000
	V	740	42	20 000	17 000	3 300	13 000	37 000
	M	720	50	22 000	17 000	3 600	15 000	34 000
61 ⁵⁾	R	2 000	160	67 000	56 000	12 000	45 000	100 000
	V	2 000	130	55 000	50 000	10 000	51 000	140 000
	M	2 000	150	58 000	49 000	11 000	62 000	140 000
64	R	480	25	13 000	9 900	2 400	9 500	29 000
	V	430	25	13 000	9 900	2 400	8 000	28 000
	M	370	33	14 000	9 900	2 900	10 000	25 000
65 ⁴⁾	R	5 000	480	120 000	120 000	..	170 000	400 000
	V	4 600	340	110 000	110 000	..	68 000	440 000
	M	4 900	430	120 000	120 000	..	140 000	400 000
67 ⁶⁾	R	..	..	..	..	..	..	..
	V	4 000	150	50 000	51 000	14 000	19 000	340 000
	M	4 500	150	45 000	51 000	13 000	12 000	340 000

(1) R = Regressiomenetelmä *regression method*V = vuosikeskiarvo *annual mean*M = murtoviivamenetelmä *linear interpolation*2) Regressioyhtälöt laskettu kullekin vuodelle erikseen
*Regression equations calculated separately for each year*3) Laskelma koskee vuosia 1970 ja 1972 *Calculation based on years 1970 and 1972 only*

4) " " " 1970 ja 1971 " " " 1970 " 1971 "

5) " " " 1971 ja 1972 " " " 1971 " 1972 "

6) " " vuotta 1972 " " " year 1972 only

Liite 15. Kuormituksen jakautuminen merialueille eri arviointimenetelmin

Appendix 15. Material transports to different sea areas estimated with different methods

Mene- telmä <i>Method</i>	Tot. N t/v	Tot. P t/v	KMnO ₄ - kulutus <i>KMnO₄- consumption</i> tO ₂ /v	Org. C t/v	BHK ₇ <i>BOD₇</i> t/v	Kiinto- aine <i>Susp. solids</i> t/v	Elektro- lyytit <i>Electrolytes</i> t/v
Suomenlahti (11-23) (42 000 km ²) <i>Gulf of Finland</i>							
R	7 600	520	150 000	130 000	33 000	160 000	530 000
V	7 600	540	150 000	130 000	32 000	120 000	540 000
M	7 800	520	150 000	130 000	32 000	140 000	520 000
Saaristomeri ja Selkämeri (24-37) (31 000 km ²) <i>Archipelago Sea and Bothnian Sea</i>							
R	8 700	840	170 000	140 000	27 000	170 000	570 000
V	8 400	890	180 000	140 000	30 000	110 000	580 000
M	8 500	840	170 000	130 000	23 000	130 000	580 000
Perämeri (42-67) (127 000 km ²) <i>Bothnian Bay</i>							
R	23 000	1 700	520 000	430 000	94 000	520 000	1 400 000
V	23 000	1 600	490 000	410 000	91 000	400 000	1 500 000
M	23 000	1 700	520 000	420 000	91 000	490 000	1 400 000